

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Návrh solárního systému a solárního kolektoru

Design of Solar System and Solar Collector

Student:

Bc. Lenka Losovská

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2011

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Lenka Losovská

Studijní program:

N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor:

2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma:

Návrh solárního systému a solárního kolektoru
Design of Solar System and Solar Collector

Zásady pro vypracování:

Navrhnete systém přípravy teplé vody (TV) pro rodinný dům obydlený celoročně 4 osobami s využitím přímého slunečního záření.

Technická dokumentace bude obsahovat:

- 1) stanovení množství tepla pro přípravu TV a rozložení spotřeby v průběhu roku
- 2) návrh solárního kolektoru
- 3) návrh solárního systému, kapacitní a bilanční výpočty s posouzením varianty systému pouze pro přípravu TV a systému s možností přitápění
- 4) stanovení environmentálního přínosu, ekonomické zhodnocení, výběr zvolené varianty
- 5) výkresovou dokumentaci s koncepčním návrhem systému a návrhem kolektoru

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ J., VRTEK M. Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80–7078–445–8.
CIHELKA J. Solární tepelná technika. Praha: Malina, 1994 . 203 s. ISBN 80–900759–5–9.
HUMM O. Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999, 353 s. . ISBN 80–7169–657–9.
TURNER W. C. Energy Management Handbook. 3. vydání, Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0–13–728098–X.
SMOLÍK, J. Technika prostředí. Praha: SNTL.ALFA, 1985.
MORAN, M.J., SHAPIRO, H.N. Fundamental of Engineering Thermodynamics. 2. vyd. New York: John Wiley&Sons, Inc., 1992. ISBN 0471076813.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání:

17.12.2010

Datum odevzdání:

23.05.2011



prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 23.5.2011.....

Josef Kuba
.....

podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB - TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do její skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 13.5.2011.....

Lenka Losovská.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu:

Lenka Losovská

Hlavní třída 557/91

708 00 Ostrava – Poruba

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Losovská, L. *Návrh solárního systému a solárního kolektoru: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2011, 69 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem solárního systému a solárního kolektoru. Úvodní teoretická část popisuje problematiku sluneční energie. V dalším bodě je stanoven výpočet množství tepla pro přípravu TUV. Následuje konstrukční návrh solárního kolektoru. Dále je proveden výpočet tepelné ztráty objektu a návrh systému pro přípravu TUV a přitápění. Předposledním bodem je volba jednotlivých částí systému. Na závěr je provedeno environmentální a ekonomické zhodnocení.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Losovská, L. *Design of Solar System and Solar Collector: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2011, 69 p. Thesis head: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

This thesis describes the design of solar systems and solar collectors. Introductory section describes the theoretical issues of solar energy. The next point is set calculate the amount of heat for hot water. The following design of a solar collector. It is performed to calculate the thermal losses of the building and design system for hot water and heating. The penultimate point is the choice of individual parts. At the end, an environmental and economic evaluation.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých symbolů	7
1 Úvod.....	14
2 Sluneční energie.....	15
2.1 Využití solární energie.....	17
3 Plochý solární kolektor	18
4 Popis objektu.....	20
5 Stanovení množství tepla pro přípravu TUV	20
6 Konstrukční návrh solárního kolektoru	22
6.1 Návrh materiálu	22
6.2 Základní energetická bilance	24
7 Výpočet tepelných ztrát objektu	32
7.1 Potřebné hodnoty k výpočtu	32
7.2 Příklad výpočtu pro jednu místnost	33
7.3 Výpočet součinitele prostupu tepla.....	34
7.4 Výpočet tepelných ztrát podle ochlazovaných ploch	34
7.5 Tepelná ztráta prostupem stěnami s přírážkami	36
7.6 Výpočet tepelných ztrát větráním	37
7.7 Výpočet celkové tepelné ztráty	38
8 Návrh systému pro přípravu TUV a přitápění	39
8.1 Rovňkové souřadnice a sluneční záření.....	39
8.2 Množství dopadlé energie pro měsíc duben	43
8.3 Zisk kolektorů pro měsíc duben.....	45
8.4 Energetická bilance TUV.....	49
8.5 Potřeba tepla pro vytápění	50
8.6 Energetická bilance vytápění	52
8.7 Celková roční potřeba energie	53
9 Součásti solárního okruhu.....	55
9.1 Volba solárního zásobníku.....	55
9.2 Volba oběhového čerpadla.....	56
9.3 Volba expanzní nádrže.....	59
10 Ekonomické zhodnocení.....	62
11 Environmentální zhodnocení	65
12 Závěr	67
Seznam použité literatury	68
Seznam příloh	69
Seznam výkresů	69

Seznam použitých symbolů

$\Sigma\xi$	[1]	součinitel všech místních ztrát
A	[m ² K/W]	redukována teplota
a	[m]	šířka stěny
a _s	[rad]	azimut slunce
a ₁	[W/m ² K]	lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru
a ₂	[W/m ² K ²]	kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru
B	[Pa ^{0,67}]	charakteristické číslo budovy
b	[m]	výška stěny
c _v	[J/kgK]	měrná tepelná kapacita vody
D	[K/rok]	počet denostupňů za rok
D _{tr}	[m]	vnější průměr trubek
D ₁₉	[K.den/mes]	počet denostupňů za měsíc
D _m	[1]	den v měsíci
d	[m]	vnitřní průměr trubky
d _o	[dny]	počet dní otopného období
d _{tr,privod}	[m]	průměr potrubí
E _{pr}	[g/rok]	emise před instalací kolektorů
E _{po}	[g/rok]	emise po instalaci kolektorů
g	[m/s ²]	gravitační zrychlení
Gr ₁	[1]	Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru
Gr ₂	[1]	Grashofovo kritérium pro vodu
H	[m]	nadmořská výška
H _g	[m]	celková geodetická výška
h	[rad]	výška slunce nad obzorem
h _a	[m]	zvolená výška absorbéru
I	[W/m ²]	jmenovité podmínky oslunění
I _c	[W/m ²]	celková intenzita záření
I _D	[W/m ²]	intenzita difúzního záření
I _{Dh}	[W/m ²]	intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu
I _o	[W/m ²]	sluneční konstanta
I _p	[W/m ²]	přímé sluneční záření
I _{ph}	[W/m ²]	intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu

I_{Pn}	$[W/m^2]$	intenzita přímého záření
I_{k_teor}	$[W/m^2]$	intenzita sl. záření dopadlé na povrch kolektoru
IN_{TUV}	$[Kč]$	investiční náklady TUV
$IN_{TUV+Vyt}$	$[Kč]$	investiční náklady TUV s přitápěním
i_{LV}	$[m^3.s^{-1}/m.Pa^{0,67}]$	součinitel spárové provzdušnosti
K_o	$[1]$	modifikátor úhlu dopadu
k	$[ks]$	počet kolektorů
k_c	$[W/m^2K]$	průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcemi
k_{iz}	$[W/m^2K]$	prostup tepla z absorberu do okolí přes zadní izolaci
k_t	$[W/m^2K]$	součinitel prostupu tepla
k_{tv}	$[W/m^2K]$	prostup tepla z absorberu do okolí přední transparentní vrstvou
k_v	$[W/mK]$	koeficient prostupu tepla trubkou
k_{vc}	$[W/m^2K]$	koeficient prostupu tepla do vody pro $1 m^2$ plochy kolektoru
L	$[m]$	délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří
L_k	$[m]$	šířka kolektoru
L	$[m]$	tloušťka daného materiálu
l_{pt}	$[m]$	délka potrubí
M	$[1]$	měsíc
M_M	$[1]$	charakteristické číslo místnosti
m	$[l/den]$	množství vody pro jednu osobu za den
m_c	$[l/den]$	množství potřebné vody za den
m_v	$[kg/s]$	hmotnostní průtok vody
m_{vR}	$[m^3/rok]$	množství potřebné vody za rok
N	$[dny]$	počet dní v roce
Nu_1	$[1]$	Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru
Nu_2	$[1]$	Nuseltovo kritérium pro vodu
n	$[1]$	počet dní v měsíci
n_h	$[h^{-1}]$	intenzita výměny vzduchu
n_R	$[1]$	počet dní v roce
os	$[1]$	počet osob
Pr	$[1]$	Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_v
Pr_1	$[1]$	Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_p

p	[1]	tepelné ztráty soustavy
p_1	[1]	přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí
p_2	[1]	přirážka na urychlení zátoku
p_3	[1]	přirážka na světovou stranu
p_{tr}	[1]	počet trubek absorberu
p_e	[kPa]	maximální provozní tlak soustavy
p_o	[kPa]	minimální provozní tlak soustavy
p_b	[kPa]	atmosférický tlak
p_v	[kPa]	přetlak nad membránou v expanzní nádobě
p_{sv}	[kPa]	jmenovitý tlak pojistného ventilu
Q_c	[W/m]	celkové teplo
Q_{celk_mes}	[Wh/m ²]	celkové záření dopadlé za měsíc
Q_{cs}	[GJ/rok]	celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev
Q_{d_den}	[Wh/m ²]	difúzní záření dopadlé za den
Q_{d_mes}	[Wh/m ²]	difúzní záření dopadlé za měsíc
Q_{dodat}	[kWh/mes]	dodatek energie v jednotlivých měsících
Q_e	[W/m]	teplo emitované do okolí
Q_{iz}	[W/m]	teplo odvedené zadní vrstvou
Q_k	[W/m]	teplo přijaté absorberem kolektoru
$Q_{k_skut_den}$	[Wh/m ²]	skut. množství zachycené plochou kolektoru za den
$Q_{k_skut_mes}$	[Wh/m ²]	skut. množství zachycené plochou kolektoru za měsíc
$Q_{k_teor_den}$	[Wh/m ²]	teor. množství zachycené plochou kolektoru za den
Q_{kol_mes}	[kWh/mes]	energie kolektoru za měsíc
Q_{kp}	[kW]	výkon kolektoru
Q_{Max}	[kWh/rok]	maximální celoroční teplo systému
Q_{NtTUV_rok}	[kWh/rok]	nevyužité teplo pro TUV za rok
Q_{NtCel_rok}	[kWh/rok]	nevyužité teplo celkem za rok
$Q_{o,Okna1,m}$	[W]	celková tepelná ztráta jednoho okna
$Q_{o,Okna2,m}$	[W]	celková tepelná ztráta druhého okna
$Q_{o,Podlaha,m}$	[W]	celková tepelná ztráta podlahy s tepelnými mosty
$Q_{o,Stena1}$	[W]	celková tepelná ztráta prostupem tepla jednou stěnou
$Q_{o,Stena1,m}$	[W]	celková tepelná ztráta stěny s tepelnými mosty
Q_p	[W]	celková tepelná ztráta s přirážkami
$Q_{p_skut_den}$	[Wh/m ²]	skut. množství přímého sl. záření dopadlé za den

$Q_{p_skut_mes}$	[Wh/m ²]	skut. množství přímého sl. záření dopadlé za měsíc
$Q_{p_teor_den}$	[Wh/m ²]	teor. množství přímého sl. záření dopadlé za den
$Q_{p_teor_mes}$	[Wh/m ²]	teor. množství přímého sl. záření dopadlé za měsíc
Q_{prebyt}	[kWh/mes]	přebytek energie v jednotlivých měsících
Q_{SkuTUV}	[kWh/den]	denní skutečná spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{spR}	[GJ/rok]	roční potřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{SPTV}	[kWh/den]	denní spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{STV}	[kWh/mes]	měsíční spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{sTV_rok}	[kWh/rok]	roční spotřeba tepla pro ohřev TUV
Q_{tv}	[W/m]	teplo odvedené přední transparentní vrstvou
Q_v	[W]	tepelná ztráta větráním
Q_{vyt}	[kWh/mes]	měsíční potřeba tepla na vytápění
Q_{vytR}	[GJ/rok]	roční potřeba tepla na vytápění
Q_{vtTUV_rok}	[kWh/rok]	využité teplo pro TUV za rok
Q_{vtCel_rok}	[kWh/rok]	využité teplo celkem za rok
Q_{vyt_rok}	[kWh/rok]	teplo pro vytápění za rok
Q_z	[W]	trvalý tepelný zisk
Q_{ztr}	[1]	ztráty solárního okruhu
R_e	[1]	Reynoldsovo kritérium
RU_{TUV}	[Kč/rok]	roční finanční úspora TUV
$RU_{TUV+vyt}$	[Kč/rok]	roční finanční úspora TUV s přitápěním
r	[1]	reflexní schopnost okolních ploch
S	[m ²]	celková plocha místnosti
S_1	[m ²]	plocha ochlazované části konstrukce
S_k	[m ²]	aktivní plocha kolektoru
S_{pk}	[m ²]	plocha kolektorů potřebná k pokrytí energie
s_p	[Kč/kWh]	sazba plynu
T_{max}	[°C]	maximální teplota
t_1	[°C]	vstupní teplota
t_2	[°C]	výstupní teplota
t_e	[°C]	výpočtová venkovní teplota
t_{em}	[°C]	střední venkovní teplota
t_i	[°C]	výpočtová vnitřní teplota
t_{im}	[°C]	průměrná vnitřní teplota

t_k	[°C]	teplota vnitřního povrchu skla
t_{k_str}	[°C]	střední teplota ohřívání vody
t_o	[°C]	teplota okolí
t_p	[°C]	teplota povrchu absorberu
t_{str}	[°C]	střední teplota
t_{svl}	[°C]	teplota studené vody v létě
t_{svz}	[°C]	teplota studené vody v zimě
t_v	[°C]	teplota vzduchu
t_{vs}	[°C]	vstupní teplota vody
t_{vyst}	[°C]	výstupní teplota vody
V	[l]	celkový objem kapaliny v solární soustavě
V_k	[l]	objem solárních kolektorů
V_{EN}	[l]	celkový objem expanzní nádoby
V_m	[m ³]	vnitřní objem prostoru
V_s	[l]	počáteční objem kapaliny
V_{vH}	[m ³ /s]	potřebný průtok V_{vH}
V_{vP}	[m ³ /s]	potřebný průtok V_{vP}
V_z	[l]	objem zásobníku
w	[m/s]	rychlost proudění teplotnosné látky v potrubí
w_{tr}	[m/s]	rychlostní průtok vody kolektorem
Y	[J.kg ⁻¹]	celková měrná energie čerpadla
Z	[1]	součinitel znečištění atmosféry
z	[m]	vzdálenost mezi vnějšími průměry trubek
α	[1]	pohltivost
α_0	[W/m ² K]	koeficient přestupu tepla z vnějšího povrchu skla do okolí
α_1	[W/m ² K]	koeficient přestupu tepla z absorberu na vnitřní povrch skla
α_e	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla na vnější straně
α_i	[W/m ² K]	součinitel přestupu tepla na vnitřní straně
α_v	[W/m ² K]	koeficient přestupu tepla z trubky do vody
γ	[rad]	úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu
γ_R	[K ⁻¹]	koeficient objemové teplotní roztažnosti
δ	[°]	sluneční deklinace

δ_{Al}	[m]	tloušťka hliníku
δ_{Cu}	[m]	tloušťka mědi
δ_{iz}	[m]	tloušťka izolace
δ_{vzd}	[m]	šířka vzduchové mezery
δ_{skla}	[m]	tloušťka skla
Δp	[Pa]	celková tlaková ztráta
Δp_1	[Pa]	ztráty třením
Δp_2	[Pa]	místní ztráty
Δp_3	[Pa]	tlaková ztráta kolektoru
ΔT	[K]	rozdíl mezi vstupní a výstupní hodnotou vody z kolektoru
Δt	[°C]	poloviční rozdíl mezi maximální a minimální denní teplotou
β	[1]	součinitel objemové roztažnosti teplotosné látky
φ	[rad]	zeměpisná šířka
ε	[1]	emisivita
ε_o	[1]	opravný součinitel
ε_s	[1]	součinitel závislý na výšce slunce nad obzorem a nadmořské výšce
η	[1]	účinnost kolektoru
η_k	[1]	účinnost solárního kolektoru
η_{k_mes}	[1]	průměrná účinnost kolektoru za měsíc
η_{kr}	[1]	pokrytí potřeb energie
η_o	[1]	optická účinnost
η_{Ts}	[1]	účinnost topného systému
λ	[W/mK]	součinitel tepelné vodivosti
$\lambda_{tř}$	[1]	součinitel třecí ztráty
λ_{Al}	[W/mK]	tepelná vodivost hliníku
λ_{Cu}	[W/mK]	tepelná vodivost mědi
λ_{iz}	[W/mK]	tepelná vodivost izolace
λ_{skla}	[W/mK]	tepelná vodivost skla
λ_v	[W/mK]	tepelná vodivost vody
λ_{vzd}	[W/mK]	tepelná vodivost vzduchu
ν	[m ² /s]	kinetická viskozita teplotosné látky

ν_v	$[\text{m}^2/\text{s}]$	kinematická viskozita vody
ν_{vzd}	$[\text{m}^2/\text{s}]$	kinematická viskozita vzduchu
ρ_{tl}	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	hustota teplotnosné látky
ρ_v	$[\text{kg}/\text{m}^3]$	hustota vody
σ	$[\text{W}/\text{m}^2\text{K}^4]$	Stefan-Boltzmannova konstanta
T	$[1]$	propustnost skla
$\tau_{1,2}$	$[\text{rad}]$	hodinový úhel
τ_{rel}	$[1]$	relativní doba slunečního svitu
$\tau_{\dot{u}}$	$[\text{°}]$	časový úhel
τ_V	$[\text{hod}]$	čas východu slunce
τ_Z	$[\text{hod}]$	čas západu slunce
τ_{pTUV}	$[\text{let}]$	prostá doba návratnosti TUV
$\tau_{\text{pTUV}+\text{Vyt}}$	$[\text{let}]$	prostá doba návratnosti TUV s přitápěním

1 Úvod

V dnešní době, i přes snahu o úsporu energie (snižující se spotřeba elektrospotřebičů, snaha o co nejnížší spotřebu automobilů atd.) stále roste poptávka po dalších a dalších zdrojích energie. Zásoba nerostných surovin, které mají největší podíl na výrobě energie, jako jsou ropa, uhlí, zemní plyn atd., je omezená a v budoucnu reálně hrozí okamžik, kdy definitivně dojdou. Se snižujícími se zásobami těchto surovin jde ruku v ruce jejich vzrůstající cena. Rizikem pro vyspělé země je také to, že největší zásoby těchto surovin jsou často v zemích, které jsou politicky nestabilní. V neposlední řadě má výroba energie z těchto zdrojů velmi negativní dopad na životní prostředí. V roce 2008 přijali vedoucí představitelé Evropské Unie komplexní balíček opatření, jehož cílem je, aby EU méně přispívala ke globálnímu oteplování a aby měla k dispozici spolehlivé a dostatečné dodávky energie.

V České republice byl v roce 2005 schválen zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Obnovitelné zdroje energie (OZE) byly v České republice částečně podporovány již před přijetím tohoto zákona. Kromě investičních dotací a programu Slunce do škol byly od roku 2002 Energetickým regulačním úřadem vyhlášovány výkupní ceny pro jednotlivé kategorie OZE.

V současné době jsme svědky zřejmě nejostřejších diskusí na téma fotovoltaiky na české politické scéně. Fotovoltaiky jsou v médiích skloňovány ve všech pádech a pomineme-li spíše politickou otázku velkých solárních elektráren a výkupních cen, zůstává využití fotovoltaických článků velmi zajímavým zdrojem pro částečné pokrytí potřeb energie pro rodinné domy.

V úvodní kapitole jsem vysvětlila základní pojmy solární energie včetně využití energie v podmínkách České republiky. Hlavní částí diplomové práce je konstrukční návrh solárního kolektoru, který slouží k zachycení energie. Dalším bodem je výpočet tepelné ztráty objektu. V následující kapitole se zabývám systémem pro přípravu teplé užitkové vody a systémem pro vytápění. Na to navazuje kapitola s jednotlivými částmi solárního systému. Poslední část diplomové práce je zaměřena na ekonomický a environmentální přínos solárního systému, kde bych chtěla zjistit, jaká bude návratnost navrženého systému a jestli bude tento systém ekonomicky výhodný.

2 Sluneční energie

Slunce je velkým dodavatelem energie pro Zemi a ze všech hvězd je pro nás nejdůležitější. Má tvar koule, skládá se z vodíku, hélia a malého množství ostatních prvků. Celkový výkon, který opouští povrch Slunce, je odhadován na $3,85 \cdot 10^{26}$ W. Z toho dopadá na zemský povrch 180 000 TW. Hmotnost Slunce je $1,983 \cdot 10^{30}$ kg a teplota na jeho povrchu je přibližně 5 800 K.

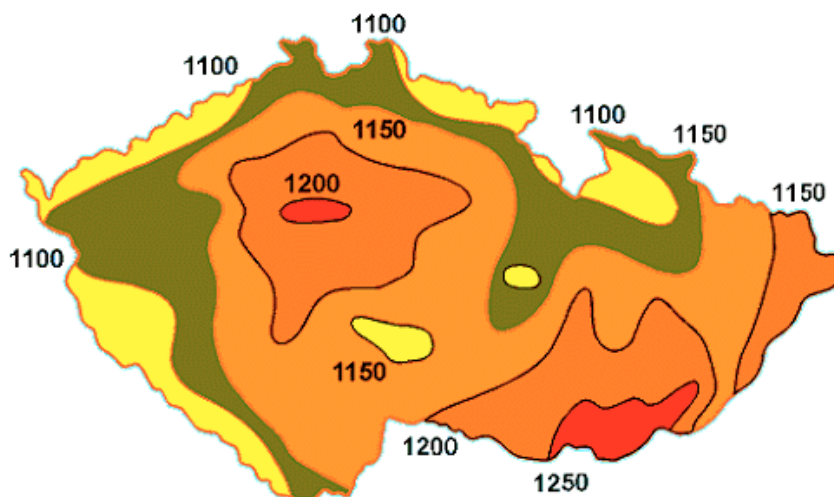
Na každý čtvereční metr plochy, který je kolmý ke slunečním paprskům před vstupem do zemské atmosféry, dopadne za jednu sekundu 1 300 až 1 400 J energie. Na hranici atmosféry Země je intenzita slunečního záření neboli sluneční konstanta $1\,367 \text{ W/m}^2$. Z toho atmosférou na zemský povrch může proniknout až $1\,000 \text{ W/m}^2$.

Sluneční světlo, které dokážeme vnímat zrakem se nazývá bílé světlo. Doba slunečního svitu se na území ČR v průměrném roce pohybuje mezi 1 400 až 1 900 hodinami za rok. V chladnější polovině roku, která se pohybuje od začátku října do konce března dopadá jen 25 % z tohoto množství. Za to v teplejší polovině roku od dubna do konce září je to zbylých 75 %.

Globální záření můžeme rozdělit na přímé a difúzní záření. Intenzita globálního záření může kolísat od 0 do $1\,000 \text{ W/m}^2$. Přímé záření se děje při jasné, bezmračné obloze, aniž by bylo rozptýleno a měnilo svůj směr. Dojde – li k rozptýlu přímého záření potom dochází k difúznímu záření. Poměr přímého a difúzního záření je závislý na geografických a mikroklimatických podmínkách. Ve střední Evropě difúzní záření tvoří v celoročním průměru 50 – 70 % z globálního záření. Roční sumy globálního záření dopadajícího na metr čtvereční vodorovné plochy v České republice se pohybují od 950 do $1\,250 \text{ kWh/m}^2$. Přehled výkonu zářivé (globální) energie a podíl difúzního záření je uveden v tabulce 2.1. Sluneční podmínky v České republice jsou znázorněny na ilustračním obrázku 2.1.

	Záření (W/m^2)	Difúzní záření (%)
Modré nebe	800 – 1 000	10
Zamlžené nebe	600 - 900	až 50
Mlhavý podzimní den	100 - 300	100
Zamračený zimní den	50	100
Celoroční průměr	600	50 - 60

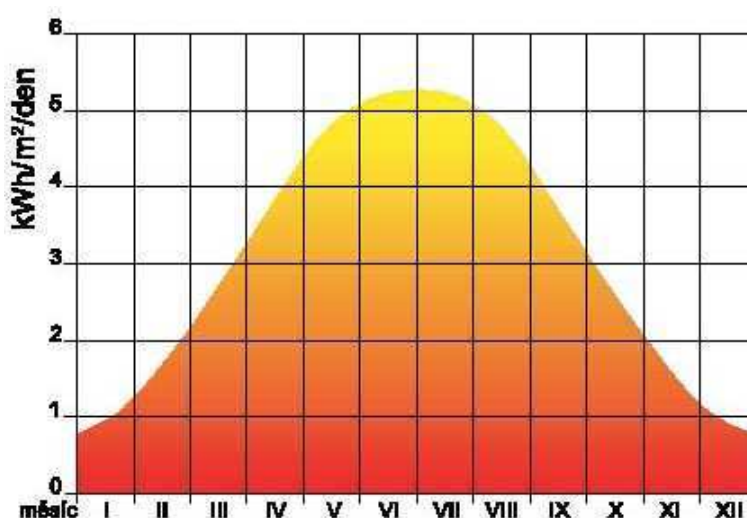
Tabulka 2.1 [2]



Obr. 2.1 Sluneční podmínky na území ČR [19]

Nejjednodušším způsobem jak využít sluneční záření je postavit slunečním paprskům do cesty solární kolektor pro výrobu energie. V mém případě je to plochý solární kolektor, který přijme dopadající energii a dále ji využije k ohřevu užitkové vody, k přitápění domů nebo k ohřevu venkovních i vnitřních bazénů.

Energie, která dopadá na solární kolektor, není každý den stejná. Záleží především na ročním období. V letních měsících je sluneční záření vysoké, v zimě je zase minimální. Protože neumíme uchovat přebytky energie z letních měsíců tak, aby se daly použít v době, kdy Slunce svítí jen minimálně, musíme mít k navrženému solárnímu systému ještě jiný zdroj. Ve většině případech jsou to zařízení na plyn, elektřinu nebo tuhá paliva. Intenzita slunečního záření v jednotlivých měsících je znázorněna na ilustračním obrázku 2.2.



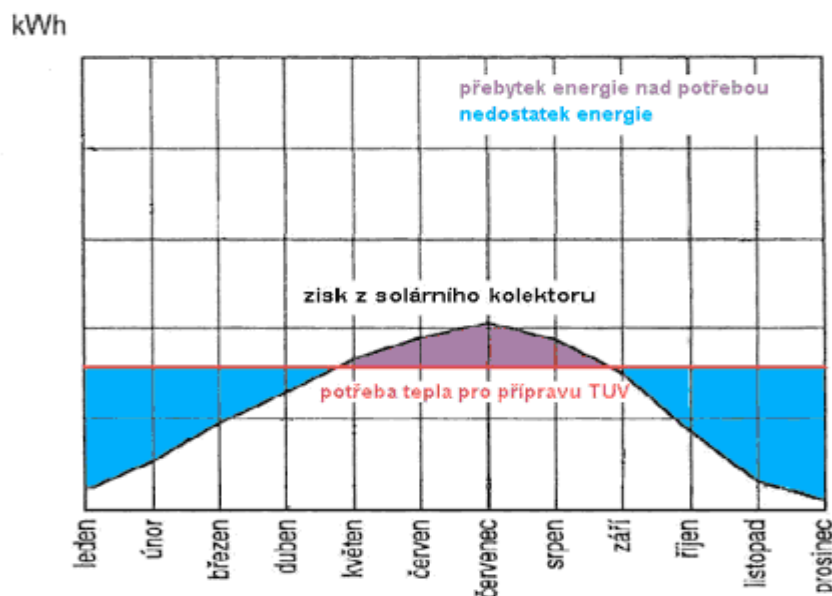
Obr. 2.2 Intenzita slunečního záření v ČR [19]

2.1 Využití solární energie

Solární systém se dá ve většině případů využít k ohřevu pitné vody (příprava teplé vody) a k topné vodě s kombinací přitápění.

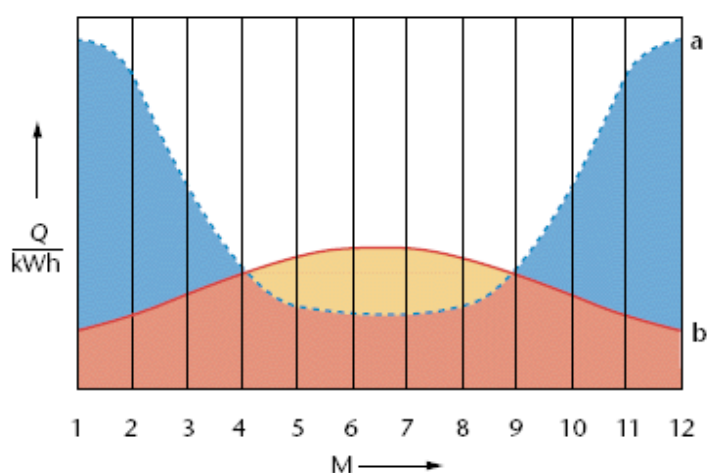
Ohřev teplé užitkové vody dokáže slunce v letních měsících pokrýt ze 100 %, v zimních měsících dokáže pokrýt většinou polovinu, což představuje 50 %. Celkově dokáže solární systém na ohřev teplé užitkové vody ušetřit cca 80 %. Většinou se volí 100 litrů objemu akumulární nádrže na jednu osobu. 1 m² kolektorové plochy ohřeje za jeden letní den 50 litrů vody na teplotu 60 °C (při teplotě vody před solárním systémem 5 až 15 °C). Z toho vychází, že objem akumulární nádoby pro běžnou rodinu by se měl pohybovat okolo 200 – 500 litrů a plocha kolektorů by měla být 4 - 8 m². V zimních měsících pracuje solární systém jako předeřev teplé užitkové vody a akumulární nádoba dokáže dosáhnou až 25 °C.

Na obrázku 2.1.1 je znázorněna roční potřeba energie pro ohřev teplé užitkové vody. Červená čára znázorňuje potřebu tepla pro přípravu teplé užitkové vody, fialová oblast je zisk z kolektorů a modrá oblast představuje nedostatek energie. Z ilustračního obrázku je vidět, že solární kolektory dokáží pokrýt potřebu tepla od května do září [15].



Obr. 2.1.1 Roční potřeba energie v ČR

Topná voda s kombinací přitápění. Dochází zde k určitému rozporu, protože v zimním období, kdy chceme využít co nejvíce energie pro vytápění je zisk kolektoru malý z důvodu málo slunečních dnů. U této varianty je potřeba uvažovat s objemem akumulční nádrže od 750 do 1 000 litrů a kolektorovou plochou 15 až 20 m². Ilustrační obrázek 2.1.2 znázorňuje nabídku energie zařízení se solárními kolektory vzhledem k roční potřebě energie pro ohřev pitné vody a vytápění. Modrá přerušovaná čára představuje požadavek na topení. Červená čára je nabídka sluneční energie. Oranžová oblast představuje topení ze solárních kolektorů, modrá oblast topení stávajícím zdrojem. Žlutá oblast je přebytek energie ze slunce v letních měsících [15].



Obr. 2.1.2 Solární energie v závislosti na potřebě topení v ČR

3 Ploché solární kolektory

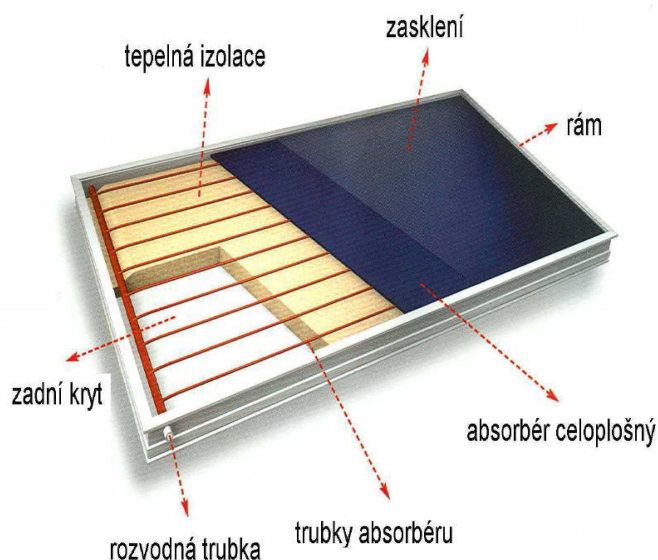
Kolektory se dělají v několika provedeních. Mohou být sezónní nebo celoroční. Sezónní kolektory se používají jen v létě a vyrábějí se z levnějších plastových absorbérů. Na rozdíl od celoročních kolektorů, které mají dostatečnou izolaci proti tepelným ztrátám a obsahují nemrznoucí směsi.

Kolektor je nejdůležitější součástí aktivních slunečních systémů. Ploché kolektory jsou složeny z černé desky, která se nachází uvnitř kolektoru. Této černé desce se odborně říká absorbér, který přijímá záření. Povrch má schopnost dopadající záření v co největší míře přeměnit na teplo. Na absorbér dopadne maximálně 90 % dopadlého záření. Velikost ztrát

odrazem je závislá na úhlu dopadu záření a na počtu vrstev krytu. V absorběru nebo na něm jsou připevněny trubky. Trubkami protéká teplotonosná kapalina. Absorbéry jsou vyráběny z dobrých vodivých materiálů, například hliníku nebo mědi, a to proto, aby měly dobrou tepelnou vodivost.

Kolektor je dále opatřen skříní a transparentním krytem. Transparentní kryt má být co možná nejpropustnější. V dnešní době je přes 90 % kolektorů opatřeno pouze jedním sklem. Dvojitý kryt vede sice k redukci tepelných ztrát, současně ale klesá jeho propustnost a tím stoupají optické ztráty kolektoru. Pro vnější krytí se prosadilo bezpečnostní sklo chudé na železo, má vysokou propustnost světla a je velmi odolné proti krupobití.

V útrubách kolektoru musí být tepelná izolace, která slouží k ochraně absorběru ze spodních a bočních stran. Před počasím a vlhkostí chrání absorbér a tepelnou izolaci kolektorová skříň. Nejpoužívanějším materiálem pro rámy kolektoru je hliník. Je dobře zpracovatelný a dostupný v různých rozměrech a cenách. Materiál je lehký a odolný proti větru. Ploché solární kolektory jsou znázorněny na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 Ploché solární kolektory [13]

4 Popis objektu

Solární zařízení je navrhováno pro rodinný dům, který se nachází v Újezdci u Přerova. Objektem je novostavba, která bude obývána celoročně 4 osobami. Objekt leží v nadmořské výšce 220 m n. m., zeměpisná šířka je 49°25'58" s. š. Dům je dvoupatrový, nepodsklepený a má tvar obdélníku se sedlovou střechou. Vstup do domu je řešen ze západní strany. V okolí objektu nejsou žádné překážky, které by stínily kolektorům. Výkresová dokumentace rodinného domu je v příloze.

Spotřeba vody pro jednu osobu na jeden den:	80 l
Azimut:	0°
Teplota studené vody - celoročně:	15°C
Teplota teplé vody - celoročně:	60°C

5 Stanovení množství tepla pro přípravu TUV

Množství vody potřebné pro ohřev TUV je stanoven podle normy. Na osobu je to 80 l/den. Dům se zrovna staví, proto je množství vody určeno z normy a ne ze zjištěné potřeby vody v průběhu celého roku. Spotřeba vody byla stanovena na 116,8 m³ za rok.

Výpočet množství vody potřebné k ohřevu za den

$$m_C = m \cdot os$$

$$m_C = 80 \cdot 4 \quad (5.1)$$

$$m_C = 320 \text{ l / den} = \underline{\underline{0,320 \text{ m}^3 \text{ / den}}}$$

kde:	m_C - množství potřebné vody za den	[l/den]
	m - množství vody pro jednu osobu za den	[l/den]
	os - počet osob	[1]

Výpočet množství vody potřebné k ohřevu za rok

$$m_{vR} = m_C \cdot n_R$$

$$m_{vR} = 0,320 \cdot 365$$

$$m_{vR} = \underline{\underline{116,8 \text{ m}^3 \text{ / rok}}} \quad (5.2)$$

kde: m_{vR} - množství potřebné vody za rok [m³/rok]
 n_R - počet dní v roce [1]

Denní spotřeba tepla pro ohřev TUV - 4 osoby

$$Q_{spTV} = \frac{c_v \cdot \rho_v \cdot m_c \cdot (t_2 - t_1)}{3,6 \cdot 10^6}$$

$$Q_{spTV} = \frac{4181 \cdot 998 \cdot 0,320 \cdot (60 - 15)}{3,6 \cdot 10^6} \quad (5.3)$$

$$Q_{spTV} = \underline{\underline{16,69 \text{ kWh} / \text{den}}}$$

kde: c_v - měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]
 ρ_v - hustota vody [kg/m³]
 Q_{spTV} - denní spotřeba tepla pro ohřev TUV [kWh/den]
 t_1 - vstupní teplota [°C]
 t_2 - výstupní teplota [°C]

Denní skutečná spotřeba tepla pro ohřev TUV - 4 osoby

$$Q_{skuTV} = Q_{spTV} \cdot (1 + p)$$

$$Q_{skuTV} = 16,69 \cdot (1 + 0,1) \quad (5.4)$$

$$Q_{skuTV} = \underline{\underline{18,359 \text{ kWh} / \text{den}}}$$

kde: Q_{skuTV} - denní skutečná spotřeba tepla pro ohřev TUV [kWh/den]
 p - tepelné ztráty soustavy, volím 0,1 [1]

Měsíční spotřeba tepla pro ohřev TUV

$$Q_s = Q_{skuTV} \cdot n$$

$$Q_s = 18,359 \cdot 30 \quad (5.5)$$

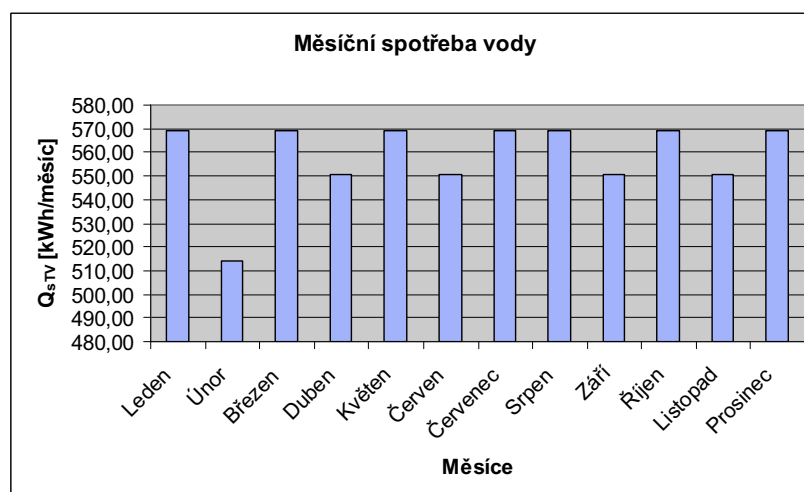
$$Q_s = \underline{\underline{550,77 \text{ kWh} / \text{mes}}}$$

kde: Q_{sTV} - měsíční spotřeba tepla pro ohřev TUV [kWh/mes]
 n - počet dní v měsíci [1]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Počet dnů	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Q_{sTV} [kWh/mes]	569,13	514,05	569,13	550,77	569,13	550,77	569,13	569,13	550,77	569,13	550,77	569,13

Tabulka 5.1

Graf 5.1 znázorňuje měsíční spotřebu vody v jednotlivých měsících.



Graf 5.1 z tabulky 5.1

6 Konstrukční návrh solárního kolektoru

Výpočet kolektoru jsem provedla pomocí skriptu Návodu do cvičení z termomechaniky [10], s využitím znalostí z předmětu Alternativní a obnovitelné zdroje energie, z předmětu Sdílení tepla, ze zadaných hodnot a pomocí výpočtového programu EES (Engineering Equation Solver), ve kterém jsou jednotlivé výpočty řešeny iterační metodou (viz příloha č. 1).

kde: $I = 800 \text{ W/m}^2$	jmenovité podmínky oslunění
$t_o = 15^\circ\text{C}$	teplota okolí
$t_{str} = 50^\circ\text{C}$	střední teplota vody v kolektoru
$Q_{kp} = 2 \text{ kW}$	výkon fiktivního kolektoru

6.1 Návrh materiálu

Pro důkladný výpočet solárního kolektoru jsem navrhla jednotlivé materiály, které jsem našla v odborné literatuře [2].

Transparentní kryt

Nejpoužívanějším materiálem na transparentní kryt je bezpečnostní sklo. Vykazuje vysokou propustnost světla a je dobře odolné proti okolním vlivům. Volím proto:

- bezželeznaté sklo strukturované a tvrzené
- tloušťka skla $\delta_{\text{skla}} = 0,004 \text{ m}$
- maximální teplota $T_{\text{max}} < 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- propustnost skla $\tau = 91 \text{ } \%$
- tepelná vodivost skla $\lambda_{\text{skla}} = 0,6 \text{ W/mK}$

Rám

Rám musí chránit absorbér a tepelnou izolaci před vlivem okolí, aby nebyla narušena jeho funkčnost. Především má vliv na instalaci kolektoru. Volím hliníkový rám. Hliník je nejpoužívanějším materiálem.

- materiál - hliník
- tloušťka $\delta_{\text{Al}} = 0,002 \text{ m}$
- tepelná vodivost $\lambda_{\text{Al}} = 209 \text{ W/mK}$

Absorbér

Volím měděný absorbér, má velmi dobrou tepelnou vodivost, dobře se zpracovává, je odolný vůči korozi a má vysokou životnost. Jeho nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

- materiál – měď
- tloušťka $\delta_{\text{Cu}} = 0,001 \text{ m}$
- tepelná vodivost $\lambda_{\text{Cu}} = 394 \text{ W/mK}$

Izolace

Volím za materiál minerální vlnu. Její předností je tepelná odolnost.

- materiál – minerální vlna
- tloušťka $\delta_{\text{iz}} = 0,05 \text{ m}$
- tepelná vodivost $\lambda_{\text{iz}} = 0,040 \text{ W/mK}$

Těsnění

Těsnění zabráňuje mechanickému znečištění transparentního krytu o rám kolektoru a v průniku vody do kolektoru. Volím za materiál silikonový kaučuk, který je odolný proti UV záření.

- materiál – silikonový kaučuk

- rozmezí teplot $60 \div 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Selektivní vrstva

Pod pojmem selektivní vrstva je myšleno povrstvení horní části absorberu. Snižuje tepelné ztráty kolektoru. Volím materiál absorberu - TiNO_x - měděný plech pokrytý selektivní vrstvou.

- pohltivost $\alpha = 95 \%$
- emisivita $\varepsilon = 5 \%$

Trubky absorberu

- vnější průměr trubky $D_{tr} = 0,01 \text{ m}$
- vnitřní průměr trubky $d = 0,008 \text{ m}$
- vzdálenost mezi vnějšími průměry trubek $z = 0,06 \text{ m}$

6.2 Základní energetická bilance

$$\begin{aligned} Q_c &= Q_k - Q_e - Q_{iz} - Q_{tv} \\ Q_c &= 1383,2 - 24,57 - 57,68 - 86,67 \\ Q_c &= \underline{\underline{1214,28 \text{ W / m}}} \end{aligned} \quad (6.2.1)$$

kde:	Q_c - celkové teplo	[W/m]
	Q_k - teplo přijaté absorberem kolektoru	[W/m]
	Q_e - teplo emitované do okolí	[W/m]
	Q_{iz} - teplo odvedené zadní vrstvou	[W/m]
	Q_{tv} - teplo odvedené přední transparentní vrstvou	[W/m]

Teplo přijaté absorberem kolektoru

$$\begin{aligned} Q_k &= I \cdot \tau \cdot \alpha \cdot h_a \\ Q_k &= 800 \cdot 0,91 \cdot 0,95 \cdot 2 \\ Q_k &= \underline{\underline{1383,2 \text{ W / m}}} \end{aligned} \quad (6.2.2)$$

kde:	I - jmenovité podmínky oslunění	[W/m ²]
	τ - propustnost skla	[1]
	α - pohltivost absorberu	[1]
	h_a - zvolená výška absorberu	[m]

Teplo emitované do okolí

$$\begin{aligned}Q_e &= \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_p^4 - T_o^4) \cdot h_a \\Q_e &= 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,05 \cdot [(273,15 + 52,36)^4 - (273,15 + 15)^4] \cdot 2 \\Q_e &= \underline{\underline{24,57 \text{ W / m}}}\end{aligned} \quad (6.2.3)$$

kde: σ - Stefan – Boltzmanova konstanta [W/m²K⁴]
 ε - emisivita [1]
 T_p - teplota povrchu absorbéru [K]
 T_o - teplota okolí [K]

Teplo odvedené přes zadní izolaci

$$\begin{aligned}Q_{iz} &= k_{iz} \cdot (t_p - t_o) \cdot h_a \\Q_{iz} &= 0,772 \cdot (52,36 - 15) \cdot 2 \\Q_{iz} &= \underline{\underline{57,68 \text{ W / m}}}\end{aligned} \quad (6.2.4)$$

kde: t_p - teplota povrchu absorbéru [°C]
 t_o - teplota okolí [°C]
 k_{iz} - koeficient prostupu tepla z absorbéru do okolí [W/m²K]

Výpočet prostupu tepla z absorbéru do okolí přes zadní izolaci

$$\begin{aligned}k_{iz} &= \frac{1}{\frac{\delta_{iz}}{\lambda_{iz}} + \frac{1}{\alpha_o}} \\k_{iz} &= \frac{1}{\frac{0,05}{0,04} + \frac{1}{22}} \\k_{iz} &= \underline{\underline{0,772 \text{ W / m}^2 \text{ K}}}\end{aligned} \quad (6.2.5)$$

kde: δ_{iz} - tloušťka izolace [m]
 λ_{iz} - tepelná vodivost izolace [W/mK]
 α_o - koeficient přestupu tepla z vnějšího povrchu skla do okolí, ($\alpha_o = 22 \text{ W/m}^2\text{K}$)

Teplo odvedené prostupem do okolí přední transparentní vrstvou

$$\begin{aligned}Q_{tv} &= k_{tv} \cdot (t_p - t_o) \cdot h_a \\Q_{tv} &= 1,16 \cdot (52,36 - 15) \cdot 2 \\Q_{tv} &= \underline{\underline{86,67 \text{ W / m}}}\end{aligned} \quad (6.2.6)$$

kde: k_{tv} - koeficient prostupu tepla z absorberu do okolí [W/m²K]

Výpočet prostupu tepla z absorberu do okolí přední transparentní vrstvou

$$k_{tv} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{skla}}{\lambda_{skla}} + \frac{1}{\alpha_o}}$$

$$k_{tv} = \frac{1}{\frac{1}{1,23} + \frac{0,004}{0,6} + \frac{1}{22}} \quad (6.2.7)$$

$$k_{tv} = \underline{\underline{1,16 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}}}$$

kde: δ_{skla} - tloušťka skla [m]
 λ_{skla} - tepelná vodivost skla [W/mK]
 α_1 - koeficient přestupu tepla z absorberu na vnitřní povrch skla [W/m²K]

Objemová teplotní roztažnost

$$\gamma_R = \frac{1}{T_{str}} = \frac{1}{t_{str} + 273,15}$$

$$\gamma_R = \frac{1}{273,15 + 35} \quad (6.2.8)$$

$$\gamma_R = \underline{\underline{3,24 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}}}$$

kde: γ_R - koeficient objemové teplotní roztažnosti vzduchu [K⁻¹]
 t_{str} - střední teplota [°C]

Gr₁ – Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$Gr_1 = \frac{g \cdot \delta_{iz}^3}{\nu_{vzd}^2} \cdot \gamma_R \cdot \Delta T$$

$$Gr_1 = \frac{9,81 \cdot 0,05^3}{(16,57 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 3,24 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \quad (6.2.9)$$

$$Gr_1 = \underline{\underline{144703,5}}$$

kde: Gr_1 - Grashofovo kritérium pro vzduchovou mezeru [1]
 ΔT - rozdíl mezi vstupní a výstupní hodnotou vody z kolektoru [K]
 g - gravitační zrychlení [m/s²]
 ν_{vzd} - kinematická viskozita vzduchu [m²/s]

Nu₁ – Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru

$$N_{u1} = 0,065 \cdot Gr_1^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{\delta_{iz}}{h_a} \right)^{\frac{1}{9}}$$
$$N_{u1} = 0,065 \cdot 144703,5^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{0,05}{2} \right)^{\frac{1}{9}} \quad (6.2.10)$$
$$N_{u1} = \underline{\underline{2,26}}$$

kde: Nu₁ - Nuseltovo kritérium pro vzduchovou mezeru [1]

Výpočet koeficientu přestupu tepla z absorberu na vnitřní povrch skla

$$\alpha_1 = \frac{N_{u1} \cdot \lambda_{vzd}}{\delta_{vzd}}$$
$$\alpha_1 = \frac{2,26 \cdot 2,72 \cdot 10^{-2}}{0,05} \quad (6.2.11)$$
$$\alpha_1 = \underline{\underline{1,23 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}}}$$

kde: δ_{vzd} - šířka vzduchové mezery [m]
λ_{vzd} - tepelná vodivost vzduchu při t_{str} [W/mK]

Šířka kolektoru

$$L_k = \frac{Q_{kp}}{Q_c}$$
$$L_k = \frac{2000}{1214,28} \quad (6.2.12)$$
$$L_k = \underline{\underline{1,65 \text{ m}}}$$

kde: Q_{kp} - výkon kolektoru [W]
Q_c - celkové teplo [W/m]
L_k - šířka kolektoru [m]

Aktivní plocha kolektoru

$$S_k = h_a \cdot L_k$$
$$S_k = 2 \cdot 1,65 \quad (6.2.13)$$
$$S_k = \underline{\underline{3,3 \text{ m}^2}}$$

kde: S_k - aktivní plocha kolektoru [m²]

Hmotnostní průtok vody

$$\begin{aligned}\dot{m}_v &= \frac{Q_c}{c_v \cdot \Delta T_v} \cdot L_k \\ \dot{m}_v &= \frac{1214,28}{4181 \cdot 10} \cdot 1,65 \\ \dot{m}_v &= \underline{\underline{0,048 \text{ kg/s}}}\end{aligned}\tag{6.2.14}$$

kde: \dot{m}_v - hmotnostní průtok vody [kg/s]
 c_v - měrná tepelná kapacita vody pro teplotu $t_v = 50 \text{ °C}$ [J/kgK]

Počet trubek absorbéru

$$\begin{aligned}p_{tr} &= \frac{L_k}{z + D_{tr}} \\ p_{tr} &= \frac{1,65}{0,06 + 0,01} \\ p_{tr} &= 23,6 = \underline{\underline{23}}\end{aligned}\tag{6.2.15}$$

kde: z - rozteč trubek [m]
 D_{tr} - vnější průměr trubek [m]
 p_{tr} - počet trubek absorbéru [1]

Rychlostní průtok vody kolektorem

$$\begin{aligned}w_{tr} &= \frac{\dot{m}_v \cdot 4}{\rho_v \cdot p_{tr} \cdot \pi \cdot d^2} \\ w_{tr} &= \frac{0,048 \cdot 4}{993,6 \cdot 24 \cdot \pi \cdot 0,008^2} \\ w_{tr} &= \underline{\underline{0,04 \text{ m/s}}}\end{aligned}\tag{6.2.16}$$

kde: d - vnitřní průměr trubky [m]
 w_{tr} - rychlostní průtok vody kolektorem [m/s]
 ρ_v - hustota vody [kg/m³]

Výpočet koeficientu přestupu tepla z trubky do vody α_v

$$\alpha_v = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_v}{d}$$
$$\alpha_v = \frac{8,94 \cdot 63,9 \cdot 10^{-2}}{0,008} \quad (6.2.17)$$
$$\alpha_v = \underline{\underline{714,1 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}}}$$

kde: α_v - koeficient přestupu tepla z trubky do vody [W/m²K]
 λ_v - tepelná vodivost vody při $t_v = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ [W/mK]
 Nu_2 - Nuseltovo kritérium pro laminární proudění v trubce [1]

Objemová teplotní roztažnost

$$\gamma_R = \frac{1}{T_v}$$
$$\gamma_R = \frac{1}{(273,15 + 50)} \quad (6.2.18)$$
$$\gamma_R = \underline{\underline{3,095 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}}}$$

kde: γ_R - koeficient objemové teplotní roztažnosti [K⁻¹]

Gr₂ – Grashofovo kritérium pro vodu

$$Gr_2 = \frac{g \cdot d^3}{\nu_v^2} \cdot \gamma_R \cdot \Delta T_v$$
$$Gr_2 = \frac{9,81 \cdot 0,008^3}{(0,556 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 3,095 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \quad (6.2.19)$$
$$Gr_2 = \underline{\underline{502863,4}}$$

kde: Gr₂ - Grashofovo kritérium pro vodu [1]
 ν_v - kinematická viskozita vody [m²/s]

Re – Reynoldsovo kritérium

$$Re = \frac{w_{tr} \cdot d}{\nu_v}$$
$$Re = \frac{0,04 \cdot 0,008}{0,556 \cdot 10^{-6}} \quad (6.2.20)$$
$$Re = \underline{\underline{575,54}}$$

kde: w_{tr} - rychlost vody v trubce [m/s]
 Re - Reynoldsovo kritérium [1]

Nu_2 – Nuseltovo kritérium pro laminární proudění v trubce

$$N_{u2} = 0,17 \cdot Re^{0,33} \cdot Pr^{0,43} \cdot Gr_2^{0,1} \cdot \left(\frac{Pr}{Pr_l} \right)^{0,25}$$

$$N_{u2} = 0,17 \cdot 575,54^{0,33} \cdot 3,54^{0,43} \cdot 502863,4^{0,1} \cdot \left(\frac{3,54}{3,41} \right)^{0,25} \quad (6.2.21)$$

$$N_{u2} = \underline{\underline{8,94}}$$

kde: Pr - Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_v [1]
 Pr_l - Prandtlovo kritérium pro teplotu vody t_p [1]

Koeficientu prostupu tepla trubkou

$$k_v = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_v \cdot d} + \frac{1}{2 \cdot \lambda_{Cu}} \cdot \ln \frac{D_{tr}}{d}}$$

$$k_v = \frac{\pi}{\frac{1}{714,1 \cdot 0,008} + \frac{1}{2 \cdot 394} \cdot \ln \frac{0,01}{0,008}} \quad (6.2.22)$$

$$k_v = \underline{\underline{17,95 \text{ W / mK}}}$$

kde: λ_{Cu} - tepelná vodivost mědi [W/mK]

Výpočet koeficientu prostupu tepla do vody pro 1 m² plochy kolektoru

$$k_{vc} = \frac{k_v}{z + D_{tr}}$$

$$k_{vc} = \frac{17,95}{0,06 + 0,01} \quad (6.2.23)$$

$$k_{vc} = \underline{\underline{256,4 \text{ W / m}^2\text{K}}}$$

kde: k_{vc} - koeficient prostupu tepla do vody [W/m²K]
 k_v - koeficient prostupu tepla trubkou [W/mK]

Teplota povrchu absorbéru

$$t_p = \frac{Q_c}{k_{vc} \cdot h_a} + t_v$$
$$t_p = \frac{1214,28}{256,4 \cdot 2} + 50 \quad (6.2.24)$$
$$t_p = \underline{\underline{52,36 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

kde: t_p - teplota povrchu absorbéru [$^\circ\text{C}$]

Teplota vnitřního povrchu skla

$$t_k = t_p - \frac{Q_{tv}}{\alpha_1 \cdot h_a}$$
$$t_k = 52,36 - \frac{86,67}{1,23 \cdot 2} \quad (6.2.25)$$
$$t_k = \underline{\underline{17,14 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

kde: t_k - teplota vnitřního povrchu skla [$^\circ\text{C}$]

Střední teplota

$$t_{str} = \frac{t_p + t_k}{2}$$
$$t_{str} = \frac{52,36 + 17,14}{2} \quad (6.2.26)$$
$$t_{str} = \underline{\underline{35 \text{ } ^\circ\text{C}}}$$

Redukovaná teplota

$$A = \frac{t_p - t_o}{I}$$
$$A = \frac{52,36 - 15}{800} \quad (6.2.27)$$
$$A = \underline{\underline{0,047 \text{ } m^2 K / W}}$$

kde: A - redukovaná teplota [$m^2 K / W$]

Účinnost kolektoru

$$\eta = \tau \cdot \alpha - (k_{iz} + k_{tv}) \cdot \frac{(t_p + t_o)}{I}$$
$$\eta = (0,91 \cdot 0,95) - (0,772 + 1,16) \cdot \frac{(52,36 - 15)}{800} \quad (6.2.28)$$
$$\eta = \underline{\underline{0,77 = 77 \%}}$$

kde: η - účinnost kolektoru [1]

7 Výpočet tepelných ztrát objektu

Výpočet je proveden podle normy ČSN 06 0210 a z projektové dokumentace rodinného domu. Norma se zabývá postupem výpočtu tepelných ztrát budov prostupem stěnami a větráním [9].

7.1 Potřebné hodnoty k výpočtu

Potřebné hodnoty k výpočtu tepelné ztráty jsou převzaty z normy ČSN 06 0210, ve které je obytná budova rozdělena podle druhu vytápění jednotlivých místností. Dále je uvedena výpočtová venkovní teplota $t_e = -12\text{ °C}$ a výpočtová vnitřní teplota. Potřebné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.1.1.

Místnosti	Výpočtová vnitřní teplota [°C]
Ložnice	20
Obývací pokoj	20
Pracovna	20
Pokoj	20
Kuchyň	20
WC	20
Koupelna	24
Komora	15
Chodba	15
Zádveží	15

Tabulka 7.1.1

7.2 Příklad výpočtu pro jednu místnost

Jako příklad výpočtu jsem si vybrala obývací pokoj. Pokoj je největší z celého domu, nachází se na jihovýchodě, proto je přírážka p_3 nulová. Má jedno okno a jedny balkónové dveře. Součinitel přestupu tepla α_i na vnitřním povrchu stěny je $8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Součinitel přestupu tepla α_e na vnější stěně je $23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hodnoty složení jsou převzaty z technické dokumentace, která byla součástí projektu rodinného domu.

Složení obvodových stěn

Vnitřní omítka	0,01 m	$\lambda = 0,1 \text{ W/mK}$
Vnější omítka	0,02 m	$\lambda = 0,67 \text{ W/mK}$
Tvárnice YTONG	0,375 m	$\lambda = 0,12 \text{ W/mK}$

Složení nepodsklepené podlahy

Základový beton	0,15 m	$\lambda = 1,36 \text{ W/mK}$
Linoleum	0,01 m	$\lambda = 0,19 \text{ W/mK}$
Cementový potěr	0,015 m	$\lambda = 1,16 \text{ W/mK}$
Ochranná fólie	0,01 m	$\lambda = 0,2 \text{ W/mK}$
Tepelná izolace	0,1 m	$\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$

Složení stropu

Nosník Porotherm	0,25 m	$\lambda = 0,41 \text{ W/mK}$
Sádrokarton	0,15 m	$\lambda = 0,22 \text{ W/mK}$
Beton	0,1 m	$\lambda = 1,23 \text{ W/mK}$
Omítka	0,01 m	$\lambda = 0,1 \text{ W/mK}$

Složení střechy

Betonová krytina	0,02 m	$\lambda = 208 \text{ W/mK}$
Izolace proti vlhkosti	0,02 m	$\lambda = 18 \text{ W/mK}$
Dřevěné desky	0,05 m	$\lambda = 0,18 \text{ W/mK}$
Izolace skelná vata	0,15 m	$\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$

7.3 Výpočet součinitele prostupu tepla

$$k_t = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \sum \frac{l}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_e}}$$

$$k_t = \frac{1}{\frac{1}{8} + \frac{0,01}{0,1} + \frac{0,02}{0,67} + \frac{0,375}{0,12} + \frac{1}{23}} \quad (7.3.1)$$

$$k_t = \underline{\underline{0,29 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}}}$$

kde: k_t - součinitel prostupu tepla [W/m²K]
 α_i - součinitel přestupu tepla na vnitřní straně [W/m²K]
 l - tloušťka daného materiálu [m]
 λ - součinitel tepelné vodivosti [W/mK]
 α_e - součinitel přestupu tepla na vnější straně [W/m²K]

Nejprve bylo potřeba vypočítat součinitele prostupu tepla k jednotlivým stavebním prvkům. Okna a dveře jsou převzaty z projektové dokumentace rodinného domu. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.3.1.

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla [W/m ² K]
Stěna venkovní	0,29
Podlaha nepodsklepená	0,348
Strop	0,6
Střecha	0,236
Okna	1,1

Tabulka 7.3.1

7.4 Výpočet tepelných ztrát podle ochlazovaných ploch

Plocha jedné vnější stěny bez okna

$$S_1 = a \cdot b$$

$$S_1 = 3,5 \cdot 2,6 \quad (7.4.1)$$

$$S_1 = \underline{\underline{9,1 \text{ m}^2}}$$

kde: S_1 - plocha ochlazované části konstrukce [m²]
 a - šířka stěny [m]
 b - výška stěny [m]

Celková ztráta tepla jednou stěnou

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{o,Stena1} &= \sum_1^n k_t \cdot S_1 \cdot (t_i - t_e) \\ \dot{Q}_{o,Stena1} &= 0,29 \cdot 9,1 \cdot (20 - (-12)) \\ \dot{Q}_{o,Stena1} &= \underline{\underline{84,448 \text{ W}}}\end{aligned}\tag{7.4.2}$$

kde: $Q_{o,Stena1}$ - celková tepelná ztráta prostupem tepla jednou stěnou [W]
 t_i - výpočtová vnitřní teplota [°C]
 t_e - výpočtová venkovní teplota [°C]

K celkové tepelné ztrátě prostupem tepla přidávám ještě tepelné mosty. Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v bezprostředním okolí tohoto místa. Jde tedy o místa, kudy uniká na jednotku plochy mnohem více tepelné energie než okolní konstrukcí při stejné ploše. Nahodilé tepelné mosty jsou takové, které se v konstrukci pravidelně neopakují. Volím zvýšení součinitele prostupu tepla o 10 % [14].

Celková ztráta tepla stěnou s tepelnými mosty

$$\begin{aligned}Q_{o,Stena1,m} &= Q_{o,Stena1} \cdot 1,1 \\ Q_{o,Stena1,m} &= 84,448 \cdot 1,1 \\ Q_{o,Stena1,m} &= \underline{\underline{92,9 \text{ W}}}\end{aligned}\tag{7.4.3}$$

kde: $Q_{o,Stena1,m}$ - celková tepelná ztráta stěny s tepelnými mosty [W]

Následující výpočty byly provedeny pro jednu vnější stěnu bez okna. Zbývající dvě stěny, podlaha i okna se vypočítají podle stejného postupu jako pro jednu vnější stěnu bez okna. Tepelné ztráty všech tří stěn, podlahy a dvou oken se potom sečtou do jednoho vzorce jako celková tepelná ztráta bez přírážek.

Celková tepelná ztráta bez přírážek

$$\begin{aligned}Q_o &= Q_{o,Stena1,m} + Q_{o,Stena2,m} + Q_{o,Stena3,m} + Q_{o,Podlaha,m} + Q_{o,Okna1,m} + Q_{o,Okna2,m} \\ Q_o &= 92,9 + 72,5 + 137,3 + 268 + 70,4 + 98,6 \\ Q_o &= \underline{\underline{739,7 \text{ W}}}\end{aligned}\tag{7.4.5}$$

kde: $Q_{o,Podlaha,m}$ - celková tepelná ztráta podlahy s tepelnými mosty [W]
 $Q_{o,Okna1,m}$ - celková tepelná ztráta jednoho okna [W]

$Q_{o,Okna2,m}$ - celková tepelná ztráta druhého okna

[W]

7.5 Tepelná ztráta prostupem stěnami s přírážkami

Průměrný součinitel prostupu tepla

$$k_c = \frac{\dot{Q}_o}{\Sigma S \cdot (t_i - t_e)}$$
$$k_c = \frac{739,7}{56,325 \cdot (20 - (-12))} \quad (7.5.1)$$
$$k_c = \underline{\underline{0,41 \text{ W} / \text{m}^2 \text{K}}}$$

kde: k_c - průměrný součinitel prostupu tepla konstrukcemi místnosti [W/m²K]
 S - celková plocha místnosti [m²]

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c$$
$$p_1 = 0,15 \cdot 0,41 \quad (7.5.2)$$
$$p_1 = \underline{\underline{0,0615}}$$

kde: p_1 - přirážka na vyrovnání vlivu chladných konstrukcí [1]

S přirážkou na urychlení zátoku p_2 se za normálních okolností nepočítá, neboť při výpočtových podmínkách se předpokládá nepřerušovaný provoz vytápění.

Celková tepelná ztráta s přírážkami

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_o \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)$$
$$\dot{Q}_p = 739,7 \cdot (1 + 0,0615 + 0 + 0) \quad (7.5.3)$$
$$\dot{Q}_p = \underline{\underline{785,11 \text{ W}}}$$

kde: Q_p - celková tepelná ztráta s přírážkami [W]
 p_2 - přirážka na urychlení zátoku [1]
 p_3 - přirážka na světovou stranu [1]

7.6 Výpočet tepelných ztrát větráním

Potřebný průtok V_{vH}

$$\begin{aligned}\dot{V}_{vH} &= \frac{n_h}{3600} \cdot V_m \\ \dot{V}_{vH} &= \frac{0,5}{3600} \cdot 56,875 \\ \dot{V}_{vH} &= \underline{\underline{0,00789 \text{ m}^3 / \text{s}}}\end{aligned} \quad (7.6.1)$$

kde: V_m - vnitřní objem prostoru [m³]
 V_{vH} - potřebný průtok V_{vH} [m³/s]
 n_h - intenzita výměny vzduchu, volím 0,5 h⁻¹ [h⁻¹]

Potřebný průtok V_{vP}

$$\begin{aligned}\dot{V}_{vp} &= \sum (i_{LV} \cdot L) \cdot B \cdot M_M \\ \dot{V}_{vp} &= \sum (0,00004 \cdot 2,9) \cdot 4 \cdot 0,7 \\ \dot{V}_{vp} &= \underline{\underline{0,0003 \text{ m}^3 / \text{s}}}\end{aligned} \quad (7.6.2)$$

kde: $\sum (i_{LV} \cdot L)$ - součet průvzdušnosti oken a venkovních dveří dané místnosti
 V_{vP} - potřebný průtok V_{vP} [m³/s]
 i_{LV} - součinitel spárové provzdušnosti [m³·s⁻¹/m.Pa^{0,67}]
 L - délka spár otvíratelných částí oken a venkovních dveří [m]
 B - charakteristické číslo budovy [Pa^{0,67}]
 M_M - charakteristické číslo místnosti [1]

Budova stojí osaměle a nachází se v normální, chráněné krajině, a proto je podle normy charakteristické číslo budovy označené písmenem B; B = 4. U rodinného domu jsou vnitřní dveře těsné s prahy, podle normy je charakteristické číslo místnosti, označené písmenem M; M = 0,7.

Tepelná ztráta větráním

$$\begin{aligned}\dot{Q}_v &= 1300 \cdot \dot{V}_{vH} \cdot (t_i - t_e) \\ \dot{Q}_v &= 1300 \cdot 0,00789 \cdot (20 - (-12)) \\ \dot{Q}_v &= \underline{\underline{328,61 \text{ W}}}\end{aligned} \quad (7.6.3)$$

kde: c_v - objemová tepelná kapacita vzduchu při teplotě 0°C [J/m³K]

Q_v - tepelná ztráta větráním

[W]

Do vzorce (7.6.3) dosadím hodnotu V_{vH} , protože má vyšší hodnotu než V_{vP} a tím vypočítám tepelnou ztrátu větráním.

7.7 Výpočet celkové tepelné ztráty

$$\dot{Q}_c = \dot{Q}_p + \dot{Q}_v - \dot{Q}_z$$

$$\dot{Q}_c = 785,11 + 328,61 \quad (7.7.1)$$

$$\dot{Q}_c = \underline{\underline{1114 \text{ W}}}$$

kde: Q_z - trvalý tepelný zisk [W]

Q_c - celková tepelná ztráta [W]

Zbývající místnosti jsou spočteny stejným způsobem jako obývací pokoj. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.7.1.

Místnosti	\dot{Q}_p [W]	\dot{Q}_v [W]	\dot{Q}_c [W]
Zádveří	127	57	184
WC	21	23	44
Komora	206	72	278
Obývací	785	329	1114
Kuchyně	361	128	489
Chodba	47	31	78
Koupelna	242	90	332
Ložnice	489	175	664
Pokoj	280	121	401
Pracovna	330	113	443
Schody	155	48	203
Suma	3043	1187	4230

Tabulka 7.7.1

Celková tepelná ztráta rodinného domu je 4,3 kW pro výpočtovou vnitřní teplotu dle tabulky číslo 7.1.1 a výpočtovou venkovní teplotu $t_e = -12 \text{ °C}$.

8 Návrh systému pro přípravu TUV a přitápění

Z literatury [1] a [11] jsem převzala hodnoty slunečního záření, které budu potřebovat k následujícím výpočtům. Hodnoty jsou převzaty pro město Brno, protože nadmořská výška Brna nejlépe vystihuje nadmořskou výšku, která je v Újezdci u Přerova. Informace o hodnotách jsou v tabulce 8.1.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
τ_{rel}	0,18	0,31	0,38	0,39	0,48	0,53	0,56	0,53	0,5	0,37	0,23	0,12
Z	2,1	2,2	2,5	2,9	3,2	3,4	3,5	3,3	2,9	2,6	2,3	2,2
t_{str}	-2	-0,6	3,7	8,7	14,1	16,9	18,8	17,8	14	8,7	3,6	-0,2

Tabulka 8.1

kde: Z - součinitel znečištění atmosféry [1]

τ_{rel} - relativní doba slunečního svitu [1]

t_{str} - střední měsíční teplota v době slunečního svitu [°C]

8.1 Rovníkové souřadnice a sluneční záření

Výpočty jsou prováděny pro měsíc duben. Charakteristický den v dubnu vychází na 15 dubna ve 12:00.

Sluneční deklinace

$$\begin{aligned}\tau_u &= 0,98^\circ \cdot D_m + 29,7^\circ \cdot M \\ \tau_u &= 0,98^\circ \cdot 15 + 29,7^\circ \cdot 4 \\ \tau_u &= \underline{\underline{133,5^\circ}}\end{aligned}\tag{8.1.1}$$

kde: D_m - den v měsíci [1]

M - měsíc [1]

τ_u - časový úhel [°]

$$\begin{aligned}\delta &= 23,45^\circ \cdot \sin(\tau_u - 109^\circ) \\ \delta &= 23,45^\circ \cdot \sin(133,5^\circ - 109^\circ) \\ \delta &= \underline{\underline{9,72^\circ}}\end{aligned}\tag{8.1.2}$$

kde: δ - sluneční deklinace [°]

Hodinové úhly východu a západu slunce

$$\begin{aligned}\cos \tau_{1,2} &= -\operatorname{tg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi \\ \cos \tau_{1,2} &= -\operatorname{tg} 0,1697 \cdot \operatorname{tg} 0,8628 \\ \tau_1 &= \underline{\underline{1,7723 \text{ rad}}} \\ \tau_2 &= \underline{\underline{-1,7723 \text{ rad}}}\end{aligned}\tag{8.1.3}$$

kde: φ - zeměpisná šířka $49^\circ 25' 58''$ [rad]
 $\tau_{1,2}$ - hodinový úhel [rad]

Západ slunce

$$\begin{aligned}\tau_z &= 12 + \frac{24}{2 \cdot \pi} \cdot \tau_1 \\ \tau_z &= 12 + \frac{24}{2 \cdot \pi} \cdot 1,7723 \\ \tau_z &= \underline{\underline{18,77 \text{ hod}}}\end{aligned}\tag{8.1.4}$$

kde: τ_z - čas západu slunce [hod]

Východ slunce

$$\begin{aligned}\tau_v &= 12 + \frac{24}{2 \cdot \pi} \cdot \tau_2 \\ \tau_v &= 12 + \frac{24}{2 \cdot \pi} \cdot -1,7723 \\ \tau_v &= \underline{\underline{5,23 \text{ hod}}}\end{aligned}\tag{8.1.5}$$

kde: τ_v - čas východu slunce [hod]

Výška slunce nad obzorem (8.1.6)

$$\begin{aligned}h &= \arcsin \cdot (\sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \tau) \\ h &= \arcsin \cdot (\sin 0,8628 \cdot \sin 0,1697 + \cos 0,8628 \cdot \cos 0,1697 \cdot \cos (1 \cdot 10^{-6})) \\ h &= \underline{\underline{0,877 \text{ rad}}}\end{aligned}$$

kde: h - výška slunce nad obzorem [rad]

Azimut slunce

$$a_s = \arcsin \left[\sin \tau \cdot \left(\frac{\cos \delta}{\cosh} \right) \right]$$
$$a_s = \arcsin \left[\sin(1 \cdot 10^{-6}) \cdot \left(\frac{\cos 0,1697}{\cos 0,877} \right) \right] \quad (8.1.7)$$
$$a_s = \underline{\underline{1,54 \cdot 10^{-6} \text{ rad}}}$$

kde: a_s - azimut slunce [rad]

Přímé sluneční záření na plochu kolmou ke směru paprsků

$$\varepsilon_s = \frac{9,38076 \cdot [\sinh + (0,003 + \sin^2 h)^{0,5}]}{2,0015 (1 - H \cdot 10^{-4})} + 0,91018$$
$$\varepsilon_s = \frac{9,38076 \cdot [\sin 0,877 + (0,003 + \sin^2 0,877)^{0,5}]}{2,0015 (1 - 220 \cdot 10^{-4})} + 0,91018 \quad (8.1.8)$$
$$\varepsilon_s = \underline{\underline{8,29}}$$

kde: ε_s - souč. závislý na výšce slunce nad obzorem a nadmořské výšce [1]

H - nadmořská výška [m]

Sluneční záření

$$I_{Pn} = I_o \cdot \exp \left(- \frac{Z}{\varepsilon_s} \right)$$
$$I_{Pn} = 1360 \cdot \exp \left(- \frac{2,9}{8,29} \right) \quad (8.1.9)$$
$$I_{Pn} = \underline{\underline{958,7 \text{ W} / \text{m}^2}}$$

kde: I_o - sluneční konstanta [W/m²]

I_{Pn} - intenzita přímého záření ve 12:00 [W/m²]

Přímé sluneční záření na obecně položenou plochu (8.1.10)

$$\cos \gamma = \sinh \cdot \cos \alpha + \cosh \cdot \sin \alpha \cdot \cos(a - a_s)$$

$$\cos \gamma = \sin 0,877 \cdot \cos 0,872 + \cos 0,877 \cdot \sin 0,872 \cdot \cos(1,54 \cdot 10^{-6} - 0)$$

$$\cos \gamma = \underline{\underline{0,984}}$$

$$I_p = I_{pn} \cdot \cos \gamma$$

$$I_p = 958,7 \cdot 0,984 \quad (8.1.11)$$

$$I_p = \underline{\underline{943,28 \text{ W} / \text{m}^2}}$$

kde: γ - úhel dopadu paprsků na osluněnou plochu [rad]

I_p - přímé sluneční záření, které svírá úhel γ [W/m²]

Intenzita záření

$$I_{ph} = I_{pn} \cdot \sinh$$

$$I_{ph} = 958,7 \cdot \sin 0,877 \quad (8.1.12)$$

$$I_{ph} = \underline{\underline{737 \text{ W} / \text{m}^2}}$$

kde: I_{ph} - intenzita přímého slunečního záření na vodorovnou plochu [W/m²]

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (I_o - I_{pn}) \cdot \sinh$$

$$I_{Dh} = 0,33 \cdot (1360 - 958,7) \cdot \sin 0,877 \quad (8.1.13)$$

$$I_{Dh} = \underline{\underline{101,87 \text{ W} / \text{m}^2}}$$

kde: I_{Dh} - intenzita difúzního záření na vodorovnou plochu [W/m²]

Intenzita difúzního záření (8.1.14)

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos \alpha) \cdot I_{Dh} + 0,5 \cdot r \cdot (1 - \cos \alpha) \cdot (I_{ph} + I_{Dh})$$

$$I_D = 0,5 \cdot (1 + \cos 0,872) \cdot 101,87 + 0,5 \cdot 0,2 \cdot (1 - \cos 0,872) \cdot (737 + 101,87)$$

$$I_D = \underline{\underline{113,7 \text{ W} / \text{m}^2}}$$

kde: I_D - intenzita difúzního záření [W/m²]

r - reflexní schopnost okolních ploch, volím 0,2 [1]

Intenzita celkového záření

$$\begin{aligned}I_c &= I_p + I_D \\I_c &= 943,28 + 113,7 \\I_c &= \underline{\underline{1056,98 \text{ W} / \text{m}^2}}\end{aligned}\tag{8.1.15}$$

kde: I_c - celková intenzita záření [W/m²]

8.2 Množství dopadlé energie pro měsíc duben

Teoretické množství za měsíc

$$\begin{aligned}Q_{p_teor_mes} &= Q_{p_teor_den} \cdot n \\Q_{p_teor_mes} &= 6112,753 \cdot 30 / 1000 \\Q_{p_teor_mes} &= \underline{\underline{183,382 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{mes}}}\end{aligned}\tag{8.2.1}$$

kde: $Q_{p_teor_den}$ - teor. množství přímého sl. záření dopadlé za den [Wh/m²]

$Q_{p_teor_mes}$ - teor. množství přímého sl. záření dopadlé za měsíc [Wh/m²]

n - počet dní v měsíci [1]

Výpočty jsou provedeny pomocí programu Excel

Skutečné množství

$$\begin{aligned}Q_{p_skut_den} &= Q_{p_teor_den} \cdot \tau_{rel} \\Q_{p_skut_den} &= 6112,753 \cdot 0,39 \\Q_{p_skut_den} &= \underline{\underline{2383,97 \text{ Wh} / \text{m}^2}}\end{aligned}\tag{8.2.2}$$

kde: $Q_{p_skut_den}$ - skut. množství přímého sl. záření dopadlé za den [Wh/m²]

τ_{rel} - relativní doba slunečního svitu [1]

Skutečné množství za měsíc

$$\begin{aligned}Q_{p_skut_mes} &= Q_{p_skut_den} \cdot n \\Q_{p_skut_mes} &= 2383,97 \cdot 30 / 1000 \\Q_{p_skut_mes} &= \underline{\underline{71,519 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{mes}}}\end{aligned}\tag{8.2.3}$$

kde: $Q_{p_skut_mes}$ - skut. množství přímého sl. záření dopadlé za měsíc [Wh/m²]

Difúzní záření za den

$$Q_{d_den} = \underline{\underline{1539,04 \text{ Wh} / \text{m}^2}}$$

kde: Q_{d_den} - difúzní záření dopadlé za den [Wh/m²]

Difúzní záření za měsíc

$$Q_{d_mes} = Q_{d_den} \cdot n$$

$$Q_{d_mes} = 1539,04 \cdot 30 / 1000 \quad (8.2.4)$$

$$Q_{d_mes} = \underline{\underline{46,171 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{mes}}}$$

kde: Q_{d_mes} - difúzní záření dopadlé za měsíc [Wh/m²]

Celkové dopadlé množství za měsíc

$$Q_{celk_mes} = Q_{p_skut_mes} + Q_{d_mes}$$

$$Q_{celk_mes} = 71,519 + 46,171 \quad (8.2.5)$$

$$Q_{celk_mes} = \underline{\underline{117,69 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{mes}}}$$

kde: Q_{celk_mes} - celkové záření dopadlé za měsíc [Wh/m²]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{p_teor_mes}$ [kWh/m ² ·mes]	121	137	178	183	197	191	192	185	170	152	121	107
$Q_{p_skut_den}$ [Wh/m ²]	702	1516	2176	2384	3054	3380	3474	3176	2850	1818	931	413
$Q_{p_skut_mes}$ [kWh/m ² ·mes]	22	42	68	72	95	101	108	99	86	56	28	13
Q_{d_den} [Wh/m ²]	520	740	1106	1539	1929	2143	2105	1783	1337	927	616	478
Q_{d_mes} [kWh/m ² ·mes]	16	21	34	46	60	64	65	55	40	29	19	15
Q_{c_mes} [kWh/m ² ·mes]	38	63	102	118	155	166	173	154	126	85	46	28

Tabulka 8.2.1

8.3 Zisk kolektorů pro měsíc duben

Teplota vzduchu

$$\begin{aligned}t_v &= t_{str} + \Delta t \cdot \cos(\tau - 30^\circ) \\t_v &= 8,7 + 6,5 \cdot \cos(1 \cdot 10^{-6} - 0,5236) \\t_v &= \underline{\underline{14,33 \text{ } ^\circ\text{C}}}\end{aligned}\tag{8.3.1}$$

kde: t_v - teplota vzduchu $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Δt - poloviční rozdíl mezi maximální a minimální denní teplotou $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Vstupní a výstupní teplota ohřívané vody

$$\begin{aligned}t_{vs} &= 15^\circ\text{C} \\t_{vyst} &= t_{vs} + \frac{Q_{kol_mes}}{c_v \cdot \rho_v \cdot m_c \cdot n} \\t_{vyst} &= 15 + \frac{584,17 \cdot 3,6 \cdot 10^6}{4181 \cdot 998 \cdot 0,32 \cdot 30} \\t_{vyst} &= \underline{\underline{67,5 \text{ } ^\circ\text{C}}}\end{aligned}\tag{8.3.2}$$

kde: t_{vs} - vstupní teplota vody $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

t_{vyst} - výstupní teplota vody $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Q_{kol_mes} - energie kolektoru za měsíc $[\text{kWh/mes}]$

Střední teplota ohřívané vody

$$\begin{aligned}t_{k_str} &= \frac{t_{vs} + t_{vyst}}{2} \\t_{k_str} &= \frac{15 + 67,5}{2} \\t_{k_str} &= \underline{\underline{41,25 \text{ } ^\circ\text{C}}}\end{aligned}\tag{8.3.3}$$

kde: t_{k_str} - střední teplota ohřívané vody $[\text{ } ^\circ\text{C}]$

Redukovaná teplota

$$A = \frac{t_{k_str} - t_v}{I}$$
$$A = \frac{41,25 - 14,33}{1056,98} \quad (8.3.4)$$
$$A = \underline{\underline{0,0255 \text{ m}^2 \text{K} / \text{W}}}$$

kde: A - redukovaná teplota [m²K/W]

Účinnost kolektoru

$\eta_o = 0,806$ - optická účinnost [1]
 $a_1 = 3,68$ - lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K]
 $a_2 = 0,0072$ - kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [W/m²K⁻²]

Účinnost kolektoru

$$\eta_k = \eta_o - a_1 \cdot A - \frac{a_2 \cdot A^2}{I}$$
$$\eta_k = 0,806 - 3,68 \cdot 0,0255 - \frac{0,0072 \cdot 0,0255^2}{1056,98} \quad (8.3.5)$$
$$\eta_k = \underline{\underline{0,7122 = 71,22 \%}}$$

kde: η_k - účinnost solárního kolektoru [1]

Modifikátor úhlu dopadu

$$K_o = 1 + b_o \cdot \left(\frac{1}{\cos \gamma} - 1 \right)$$
$$K_o = 1 - 0,087 \cdot \left(\frac{1}{0,984} - 1 \right) \quad (8.3.6)$$
$$K_o = \underline{\underline{0,998}}$$

kde: K_o - modifikátor úhlu dopadu [1]

Intenzita slunečního záření dopadlé na povrch kolektoru

$$\begin{aligned}I_{k_teor} &= I \cdot \eta_k \cdot K_o \\I_{k_teor} &= 1056,98 \cdot 0,7122 \cdot 0,998 \\I_{k_teor} &= \underline{\underline{751,28 \text{ W} / \text{m}^2}}\end{aligned}\tag{8.3.7}$$

kde: I_{k_teor} - intenzita sl. záření dopadlé na povrch kolektoru $[\text{W}/\text{m}^2]$

Teoretické množství zachycené kolektorem za den

$$\begin{aligned}Q_{k_teor} &= \int_{\tau_1}^{\tau_2} I_{k_teor} \cdot d\tau \\Q_{k_teor_den} &= \underline{\underline{5286,4 \text{ Wh} / \text{m}^2}}\end{aligned}$$

kde: $Q_{k_teor_den}$ - teor. množství zachycené plochou kolektoru za den $[\text{Wh}/\text{m}^2]$

Skutečné množství zachycené kolektorem za den

$$\begin{aligned}Q_{k_skut_den} &= Q_{k_teor_den} \cdot \tau_{rel} \\Q_{k_skut_den} &= 5286,4 \cdot 0,39 \\Q_{k_skut_den} &= \underline{\underline{2061,7 \text{ Wh} / \text{m}^2}}\end{aligned}\tag{8.3.8}$$

kde: $Q_{k_skut_den}$ - skut. množství zachycené plochou kolektoru za den $[\text{Wh}/\text{m}^2]$

Skutečné množství zachycené kolektorem za měsíc

$$\begin{aligned}Q_{k_skut_mes} &= Q_{k_skut_den} \cdot n \\Q_{k_skut_mes} &= 2061,7 \cdot 30 / 1000 \\Q_{k_skut_mes} &= \underline{\underline{61,85 \text{ kWh} / \text{m}^2 \cdot \text{mes}}}\end{aligned}\tag{8.3.9}$$

kde: $Q_{k_skut_mes}$ - skut. množství zachycené plochou kolektoru za měsíc $[\text{Wh}/\text{m}^2]$

Účinnost kolektoru za měsíc duben

$$\eta_{k_mes} = \frac{Q_{k_skut_mes}}{Q_{celk_mes}}$$

$$\eta_{k_mes} = \frac{61,85}{117,69} \quad (8.3.10)$$

$$\eta_{k_mes} = 0,526 = \underline{\underline{52,6 \%}}$$

kde: η_{k_mes} - průměrná účinnost kolektoru za měsíc duben [1]

Plocha kolektorů

$$S_{Pk} = \frac{Q_{S_{TV}}}{Q_{k_mes}}$$

$$S_{Pk} = \frac{550,77}{61,85} \quad (8.3.11)$$

$$S_{Pk} = \underline{\underline{8,9 \text{ m}^2}}$$

kde: S_{Pk} - plocha kolektorů potřebná k pokrytí energie [m^2]

Počet kolektorů

$$k = \frac{S_{Pk}}{S_k}$$

$$k = \frac{8,9}{3,3} \quad (8.3.12)$$

$$k = 2,7 \text{ ks} = \underline{\underline{3 \text{ ks}}}$$

kde: k - počet kolektorů [ks]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$Q_{k_skut_mes}$ [kWh/m ² .mes]	15,41	31,92	54,34	61,85	85,16	93,72	100,56	90,26	74,46	45,84	20,82	8,88
η_{k_mes} [%]	41	51	53	53	55	57	58	58	59	54	45	32
k [ks]	11	5	3	3	2	2	2	2	2	4	8	19

Tabulka 8.3.1

8.4 Energetická bilance TUV

Energie získaná pomocí kolektorů

$$\begin{aligned}Q_{kol_mes} &= Q_{k_skut_mes} \cdot S_k \cdot k \cdot (1 - Q_{ztr}) \\Q_{kol_mes} &= 61,85 \cdot 3,3 \cdot 3 \cdot (1 - 0,045) \\Q_{kol_mes} &= \underline{\underline{584,2 \text{ kWh / mes}}}\end{aligned}\tag{8.4.1}$$

kde: Q_{kol_mes} - energie získaná kolektory za měsíc [kWh/mes]
 Q_{ztr} - ztráty solárního okruhu, volím 0,045 [1]

Energie přebytková pro měsíc duben

$$\begin{aligned}Q_{prebyt} &= Q_{kol_mes} - Q_{S_{TV}} \\Q_{prebyt} &= 584,2 - 550,77 \\Q_{prebyt} &= \underline{\underline{33,43 \text{ kWh / mes}}}\end{aligned}\tag{8.4.2}$$

kde: Q_{prebyt} - přebytek energie v jednotlivých měsících [kWh/mes]
Energie přebytková platí pro měsíce - duben, květen, červen, červenec, srpen, září

Energie nedostatková pro měsíc leden

$$\begin{aligned}Q_{dodat} &= Q_{kol_mes} - Q_{S_{TV}} \\Q_{dodat} &= |145,2 - 569,13| \\Q_{dodat} &= \underline{\underline{423,93 \text{ kWh / mes}}}\end{aligned}\tag{8.4.3}$$

kde: Q_{dodat} - dodatek energie v jednotlivých měsících [kWh/mes]
Energie nedostatková platí pro měsíce - leden, únor, březen, říjen, listopad, prosinec

Pokrytí potřeb energie pro měsíc leden

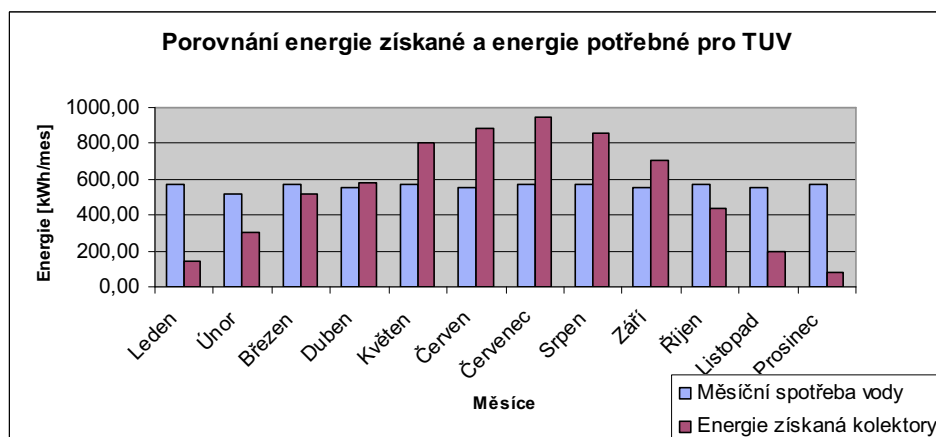
$$\begin{aligned}\eta_{kr} &= \frac{Q_{S_{TV}} - Q_{dodat}}{Q_{S_{TV}}} \\ \eta_{kr} &= \frac{569,13 - 423,93}{569,13} \\ \eta_{kr} &= 0,255 = \underline{\underline{25,5 \%}}\end{aligned}\tag{8.4.4}$$

kde: η_{kr} - pokrytí potřeb energie [1]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{kol_mes} [kWh/mes]	145,22	301,79	513,82	584,2	805,13	886,03	950,72	853,37	703,94	433,37	196,83	83,99
Q_{prebyt} [kWh/mes]	0,00	0,00	0,00	33,43	236,00	335,26	381,60	284,24	153,17	0,00	0,00	0,00
Q_{nedost} [kWh/mes]	423,93	212,26	55,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	135,76	353,94	485,14
η_{kryti} [%]	25,50	58,71	90,28	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	76,15	35,74	14,76

Tabulka 8.4.1

Graf 8.4.1 znázorňuje porovnání mezi energií získanou solárními kolektory a energií potřebnou k ohřevu TUV v jednotlivých měsících.



Graf 8.4.1 z tabulek 5.1 a 8.4.1

8.5 Potřeba tepla pro vytápění

Počet denostupňů za rok

$$\begin{aligned}
 D &= d_o \cdot (t_{im} - t_{em}) \\
 D &= 232 \cdot (19 - 4,4) \\
 D &= \underline{\underline{3387,2 \text{ K / rok}}}
 \end{aligned}
 \tag{8.5.1}$$

kde: t_{im} - průměrná vnitřní teplota [°C]
 t_{em} - střední venkovní teplota [°C]
 d_o - počet dní otopného období [dny]
 D - počet denostupňů za rok [K/rok]

Roční potřeba tepla na vytápění

$$Q_{\text{vytR}} = \frac{24 \cdot \varepsilon_o \cdot Q_c \cdot D}{t_i - t_e}$$

$$Q_{\text{vytR}} = \frac{24 \cdot 0,75 \cdot 4,23 \cdot 3387,2}{(19 - (-12))} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (8.5.2)$$

$$Q_{\text{vytR}} = \underline{\underline{29,95 \text{ GJ} / \text{rok} = 8,32 \text{ MWh} / \text{rok}}}$$

kde: t_i - vnitřní teplota [°C]
 t_e - venkovní teplota [°C]
 ε_o - opravný součinitel, volím 0,75 [1]
 Q_{vytR} - roční potřeba tepla na vytápění [GJ/rok]

Počet denostupňů otopného období za měsíc leden

$$D_{19} = d_o \cdot (t_i - t_{\text{str}})$$

$$D_{19} = 31 \cdot (19 - (-2)) \quad (8.5.3)$$

$$D_{19} = \underline{\underline{651 \text{ K.den} / \text{mes}}}$$

kde: D_{19} - počet denostupňů za měsíc [K.den/mes]

Lednová potřeba tepla na vytápění

$$Q_{\text{vyt}} = 24 \cdot \varepsilon_o \cdot Q_c \cdot \frac{D_{19}}{(t_i - t_e)}$$

$$Q_{\text{vyt}} = 24 \cdot 0,75 \cdot 4,23 \cdot \frac{651}{(19 - (-12))} \quad (8.5.4)$$

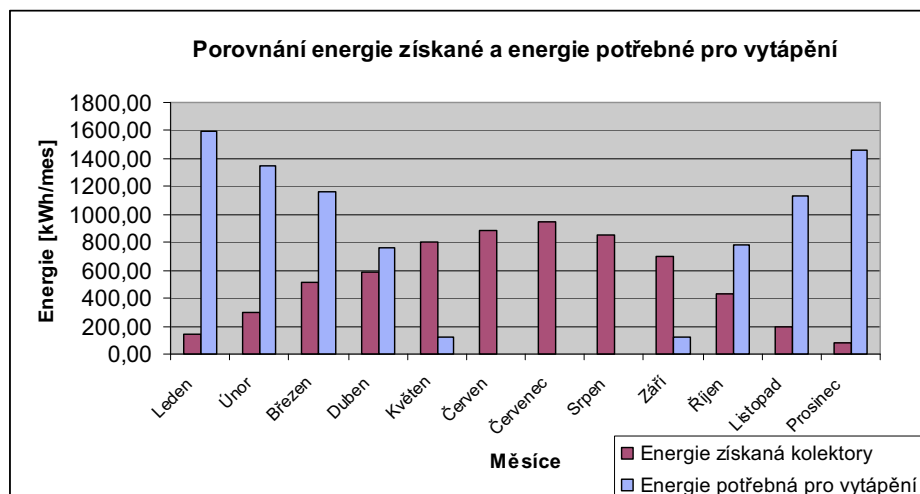
$$Q_{\text{vyt}} = \underline{\underline{1598,9 \text{ kWh} / \text{mes}}}$$

kde: Q_{vyt} - měsíční potřeba tepla na vytápění [kWh/mes]

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t_{str}	-2	-0,6	3,7	8,7	14,1	16,9	18,8	17,8	14	8,7	3,6	-0,2
t_i	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
d	31	28	31	30	10	0	0	0	10	31	30	31
D_{19}	651	548,8	474,3	309	49	0	0	0	50	319,3	462	595,2
Q_{vyt} [kWh/mes]	1598,9	1347,9	1164,9	758,9	120,4	0	0	0	122,8	784,2	1134,7	1461,9

Tabulka 8.5.1

Graf 8.5.1 znázorňuje porovnání mezi energií získanou solárními kolektory a energií potřebnou k vytápění v jednotlivých měsících.



Graf 8.5.1 z tabulek 8.4.1 a 8.5.1

8.6 Energetická bilance vytápění

Energie nedostatková pro měsíc duben

$$Q_{\text{dodat}} = Q_{\text{kol_mes}} - Q_{\text{Vyt}}$$

$$Q_{\text{dodat}} = |584,2 - 758,95| \quad (8.6.1)$$

$$Q_{\text{dodat}} = \underline{\underline{174,75 \text{ kWh / mes}}}$$

kde: Energie nedostatková platí pro měsíce - leden, únor, březen, duben, říjen, listopad, prosinec

Energie přebytková pro měsíc květen

$$Q_{\text{prebyt}} = Q_{\text{kol_mes}} - Q_{\text{Vyt}}$$

$$Q_{\text{prebyt}} = 805,13 - 120,35 \quad (8.6.2)$$

$$Q_{\text{prebyt}} = \underline{\underline{684,78 \text{ kWh / mes}}}$$

kde: Energie přebytková platí pro měsíce - květen, červen, červenec, srpen, září

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Q_{kol_mes} [kWh/mes]	145,22	301,79	513,82	584,2	805,13	886,03	950,72	853,37	703,94	433,37	196,83	83,99
Q_{prebyt} [kWh/mes]	0,00	0,00	0,00	0,00	684,78	886,03	950,72	853,37	581,14	0,00	0,00	0,00
Q_{nedost} [kWh/mes]	1453,72	1046,13	651,13	174,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	350,87	937,90	1377,90

Tabulka 8.6.1

8.7 Celková roční potřeba energie

Roční potřeba tepla pro ohřev TUV

$$Q_{sp_R} = Q_{sku_{TV}} \cdot d_o + 0,8 \cdot Q_{sku_{TV}} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d_o)$$

$$Q_{sp_R} = 18,359 \cdot 232 + 0,8 \cdot 18,359 \cdot \frac{60 - 15}{60 - 5} \cdot (365 - 232) \quad (8.7.1)$$

$$Q_{sp_R} = \underline{\underline{5,86 \text{ MWh} / rok = 21,09 \text{ GJ} / rok}}$$

kde: t_{svl} - teplota studené vody v létě [°C]
 t_{svz} - teplota studené vody v zimě [°C]
 N - počet dní v roce [dny]
 Q_{spR} - roční potřeba tepla pro ohřev TUV [GJ/rok]

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev TUV

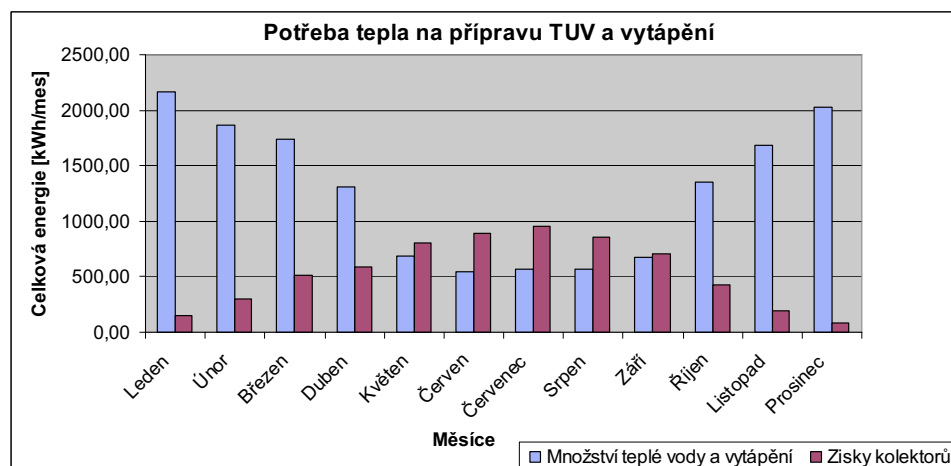
$$Q_{cs} = Q_{sp_R} + Q_{vyt,R}$$

$$Q_{cs} = 21,09 + 29,95 \quad (8.7.2)$$

$$Q_{cs} = \underline{\underline{51,04 \text{ GJ} / rok = 14,18 \text{ MWh} / rok}}$$

kde: Q_{cs} - celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev TUV [GJ/rok]

Graf 8.7.1 znázorňuje porovnání mezi energií získanou solárními kolektory a energií potřebnou pro přípravu TUV a k vytápění v jednotlivých měsících.



Graf 8.7.1 z tabulek 5.1, 8.4.1 a 8.5.1

Celkové roční nevyužité teplo systému

Maximální celoroční teplo systému

$$Q_{Max} = \sum Q_{kol_mes} = \underline{\underline{6458,97 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.3)$$

Využité teplo pro TUV za rok

$$Q_{ViTUV_rok} = Q_{Max} - Q_{prebytTUV_rok} = \underline{\underline{5035,27 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.4)$$

Nevyužité teplo pro TUV za rok

$$Q_{NiTUV_rok} = \sum Q_{prebytTUV} = \underline{\underline{1423,7 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.5)$$

Využité teplo celkem za rok

$$Q_{ViCel_rok} = \underline{\underline{5311,86 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.6)$$

Nevyužité teplo celkem za rok

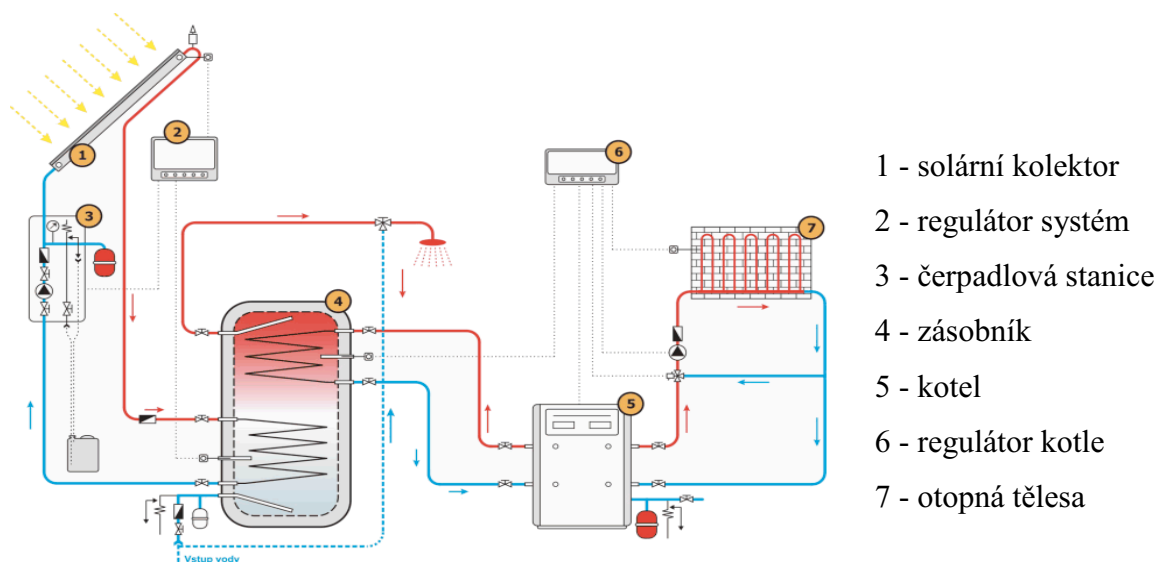
$$Q_{NiCel_rok} = \underline{\underline{1147,11 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.7)$$

Teplo pro vytápění za rok

$$Q_{Vyt_rok} = Q_{ViCel_rok} - Q_{ViTUV_rok} = \underline{\underline{276,59 \text{ kWh} / rok}} \quad (8.7.8)$$

9 Součásti solárního okruhu

Součásti solárního okruhu jsou znázorněny na ilustračním obrázku 9.1. Tento systém slouží pro ekonomický ohřev TUV a pro podporu vytápění. Má možnosti připojit do systému další zdroj tepla, tím může být tepelné čerpadlo a kotel na fosilní paliva.



Obr. 9.1 Schéma solárního okruhu [21]

9.1 Volba solárního zásobníku

Volba optimálního objemu zásobníku závisí na odebraném celkovém denním množství teplé vody, denním profilu odběru teplé vody, schopnosti nádrže udržet stratifikovaný (vrstvený) objem a na teplotě, na kterou je voda ohřívána. Velikost zásobníku se u rodinných domů většinou volí mezi 1,5 - 2 násobek denní spotřeby teplé vody, aby bylo možno pokrytí spotřební špičky a zároveň překlenutí dnů chudých na sluneční záření.

Výpočet objemu tepelného zásobníku pro 2 násobek denní spotřeby tepla

$$\begin{aligned} V_z &= m_c \cdot 2 \\ V_z &= 320 \cdot 2 \\ V_z &= \underline{\underline{640 \text{ l}}} \end{aligned} \tag{9.1.1}$$

kde: m_c - množství potřebné vody za den pro 4 člennou rodinu [l/den]

V_z - objem zásobníku [l]

Volím zásobníkový ohřívač vody s nepřímým ohřevem se dvěma spirálovými výměníky. Nepřímotopné zásobníkové ohřívače se dvěma spirálovými výměníky v objemech od 200 do 1000 litrů jsou určeny tam, kde je pro ohřev teplé vody využit i nějaký alternativní zdroj energie, například solární kolektory, elektrická topná jednotka či kotle na tuhá paliva či plyn. Typ ohřívače je Q7-800-ZDV, maximální provozní tlak sanitární vody a primárního okruhu je 10 barů, max. teplota sanitární vody je 85 °C, max. teplota primárního okruhu je 95 °C a provozní teplota sanitární vody je 55 °C. Vnitřní povrch nádrže je opatřen hladkým sklovitým povrchem, který brání korozi a omezuje tvorbu vodního kamene. Anodová tyč kompenzuje vlivy elektrolytické koroze a chrání části, které nejsou povrchově upraveny (závitové spoje). Vnější plášť je tvořen z PVC a tepelná izolace je zhotovena z tvrdého polyuretanu o tloušťce 100 mm [12]. Údaje solárního zásobníku jsou uvedeny (viz příloha č. 2).

9.2 Volba oběhového čerpadla

Oběhové čerpadlo zajišťuje dopravu teplotnosné látky mezi kolektorem a zásobníkem tepla. Výpočet hydraulické tlakové ztráty potrubní sítě a návrh oběhových čerpadel je podobný jako u otopných soustav. Rozdíly jsou jenom v teplotnosné látce. V solárních soustavách se kromě klasické teplotnosné látky, kterou je voda, používají především látky na bázi nemrznoucí směsi glykolu a vody. Glykol a voda se používají pro soustavy s celoročním provozem. Voda se používá pouze pro soustavy v letních měsících. Nejčastěji se používá propylenglykol, který je toxikologicky nezávadný. Můžeme ho najít pod různými obchodními názvy (Solaren). Směs glykolu s vodou je dostupná již v naředěném stavu. Nejčastěji jsou směsi naředěné na teplotu tuhnutí -20 °C [16]. Fyzikální vlastnosti glykolenové směsi s vodou pro teplotu tuhnutí -20 °C jsou uvedeny v tabulce 9.2.1.

	T_t (°C)	ρ_{tl} (kg/m ³)	ν (m ² /s)
propylenglykol + voda	-20	1032	$4,8 \times 10^{-6}$

Tabulka 9.2.1

Návrh oběhového čerpadla je závislý na průtoku teplotnosné látky okruhem a tlakových ztrátách okruhu. Pro solární systém využijí systém high - flow (vysoký průtok), při kterém je požadovaný průtok kolektory 30 až 70 l/m²h. Výhodou tohoto systému je jednoduchost a

kolektory jsou provozovány s nejvyšší účinností. Nevýhodou je pomalý ohřev na žádanou úroveň teploty.

Rychlost vody v potrubí

$$w = \frac{m_v \cdot 4}{\pi \cdot d_{tr,privod}^2 \cdot \rho_{tl}}$$

$$w = \frac{0,048 \cdot 4}{\pi \cdot 0,016^2 \cdot 1032} \quad (9.2.1)$$

$$w = \underline{\underline{0,23 \text{ m/s}}}$$

kde: $d_{tr,privod}$ - průměr potrubí [m]
 m_v - hmotnostní průtok vody [kg/s]
 w - rychlost proudění teplotnosné látky v potrubí [m/s]
 ρ_{tl} - hustota teplotnosné látky [kg/m³]

Výpočet Reynoldsova čísla

$$Re = \frac{w \cdot d_{tr,privod}}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,23 \cdot 0,016}{4,8 \cdot 10^{-6}} \quad (9.2.2)$$

$$Re = \underline{\underline{766,7}}$$

kde: ν - kinetická viskozita teplotnosné látky [m²/s]
 Re - Reynoldsovo číslo [1]

Součinitel třecí ztráty

$$\lambda_{tr} = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda_{tr} = \frac{64}{766,7} \quad (9.2.3)$$

$$\lambda_{tr} = \underline{\underline{0,083}}$$

kde: λ_{tr} - součinitel třecí ztráty [1]

Ztráty vzniklé třením proudícího média

$$\Delta p_1 = \lambda_{tr} \cdot \frac{l_{pt}}{d_{tr, privod}} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{tl}$$
$$\Delta p_1 = 0,083 \cdot \frac{24}{0,016} \cdot \frac{0,23^2}{2} \cdot 1032 \quad (9.2.4)$$
$$\Delta p_1 = \underline{\underline{3398,4 \text{ Pa}}}$$

kde: l_{pt} - délka potrubí [m]
 d - vnitřní průměr potrubí [m]
 Δp_1 - ztráty třením [Pa]

Místní ztráty

$$\Delta p_2 = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho_{tl}$$
$$\Delta p_2 = 30 \cdot \frac{0,04^2}{2} \cdot 1032 \quad (9.2.5)$$
$$\Delta p_2 = \underline{\underline{24,77 \text{ Pa}}}$$

kde: $\sum \xi$ - součinitel všech místních ztrát [1]
 Δp_2 - místní ztráty [Pa]

Celková tlaková ztráta

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3$$
$$\Delta p = 3398,4 + 24,77 + 350 \quad (9.2.6)$$
$$\Delta p = \underline{\underline{3773,17 \text{ Pa}}}$$

kde: Δp_3 - tlaková ztráta kolektoru, volím 350 Pa [Pa]
 Δp - celková tlaková ztráta [Pa]

Čerpadlo

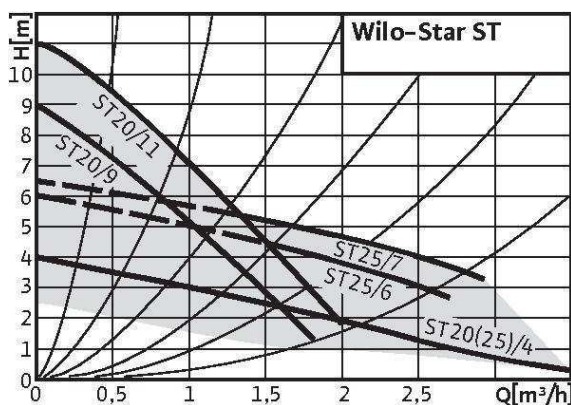
$$Y = g \cdot H_g + \frac{\Delta p}{\rho_{tl}}$$
$$Y = 9,81 \cdot 5,5 + \frac{3773,17}{1032} \quad (9.2.7)$$
$$Y = \underline{\underline{57,61 \text{ J.kg}^{-1}}}$$

kde: H_g - celková geodetická výška, volím 5,5 m z dispozičního řešení [m]

Y - celková měrná energie čerpadla

[J.kg⁻¹]

Volím oběhové čerpadlo **Wilo ST 25/6**, jedná se o jednotrubkovou solární čerpadlovou skupinu. Používá se převážně pro malé systémy. Maximální provozní teplota 120 °C. Charakteristika oběhového čerpadla je na obrázku 9.2.1.



Obr. 9.2.1 [18]

Vybavení čerpadla: Teploměr, tlakoměr

Pojistný ventil 6 bar

Napouštěcí a vypouštěcí ventily

Uzavírací ventil, zpětný ventil solární

Průtokoměr s regulací průtoku

Výstup pro připojení expanzní nádoby

Připojení trubek 3/4“ vnější

9.3 Volba expanzní nádrže

Expanzní nádoba umožňuje změny objemu teplotně roztažené kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti bez nedovoleného zvýšení tlaku a zbytečných ztrát kapaliny způsobených otevřením pojistného ventilu. Expanzní nádrž má být dostatečného objemu, aby byla schopna pojmout objem kolektoru. Tlaková expanzní nádoba je kovová, uprostřed je rozdělená pružnou membránou. Teplotně roztažená látka se zahříváním při provozu solární soustavy roztahuje a vyplňuje postupně objem expanzní nádoby.

Výpočet objemu expanzní nádoby

$$V_{EN} = (V_s + V \cdot \beta + V_k) \cdot \frac{p_e + p_b}{p_e - p_o}$$
$$V_{EN} = (2 + 32 \cdot 0,1 + 3) \cdot \frac{380 + 100}{380 - 125} \quad (9.4.1)$$
$$V_{EN} = 15,44l = \underline{\underline{18l}}$$

kde:	V_{EN} - celkový objem expanzní nádoby	[l]
	V_s - počáteční objem kapaliny, min. 2 litry	[l]
	V - celkový objem kapaliny v solární soustavě	[l]
	β - součinitel objemové roztažnosti teplotnosné látky	[1]
	V_k - objem solárních kolektorů	[l]
	p_e - maximální provozní tlak soustavy	[kPa]
	p_o - minimální provozní tlak soustavy (plnicí tlak)	[kPa]
	p_b - atmosférický tlak	[kPa]

Plnicí tlak dolní části solární soustavy

$$p_o = 0,07 + H_g \cdot 0,01$$
$$p_o = 0,07 + 5,5 \cdot 0,01 \quad (9.4.2)$$
$$p_o = 0,125 \text{ MPa} = \underline{\underline{125 \text{ kPa}}}$$

Přetlak nad membránou

$$p_v = p_o - 0,03$$
$$p_v = 0,125 - 0,03 \quad (9.4.3)$$
$$p_v = 0,095 \text{ MPa} = \underline{\underline{95 \text{ kPa}}}$$

kde:	p_v - přetlak nad membránou v expanzní nádobě	[kPa]
------	---	-------

Maximální provozní tlak soustavy

$$p_e = p_{sv} - 0,02$$
$$p_e = 0,4 - 0,02 \quad (9.4.4)$$
$$p_e = 0,38 \text{ MPa} = \underline{\underline{380 \text{ kPa}}}$$

kde:	p_{sv} - jmenovitý tlak pojistného ventilu	[kPa]
------	--	-------

Volím expanzní nádobu od firmy Quantum s objemem nádoby 18 litrů, která je osazena speciální membránou pro solární kapaliny a slouží k vyrovnání změny objemu v solární soustavě při změnách teploty.

Solární okruh je propojen měděnými trubkami, jejich výhodou je nízká drsnost a neovlivňují součinitel třecí tlakové ztráty. Mají jednoduché spojování pomocí pájení nebo se mohou nacházet ve formě lisovaných spojů. Stejný materiál je použit už v kolektoru. Jedinou nevýhodou měděných trubek je jejich vysoká cena.

10 Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení se dělá proto, abych zjistila jaká bude investiční návratnost solárního systému. Doba návratnosti investic závisí na množství využití energie solárního systému při účinnosti topného systému 85 %. Srovnávám dvě varianty, jednu pro TUV v tabulce 10.1 a druhou pro TUV s přitápěním v tabulce 10.2.

Solární kolektor, který jsem v diplomové práci navrhla není v běžné nabídce na trhu, proto je jeho cena pouze orientační. Ve výpočtech dále nejsou zahrnuty náklady na údržbu zařízení, náklady na elektrickou energii pro čerpadlo, neuvažuji ani s navyšováním cen energie, nepočítám s mírou inflace, s žádnými dotacemi ani s instalací solárního systému.

Tabulka investičních nákladů TUV

Název	Mn.	Cena
Solární kolektory	3 ks	43 200,-
Sada upevňovací a propojovací	3 ks	4 180,-
Solární zásobník Q7-800-ZDV	1 ks	53 445,-
Čerpadlo Wilo ST 25/6	1 ks	3 582,-
Elektronická regulace	1 ks	3 349,-
Expanzní nádoba	1 ks	999,-
Odvzdušňovací ventil	1 ks	490,-
Teplotní čidlo	3 ks	450,-
Zpětná klapa	1 ks	550,-
Kulový kohout	4 ks	1 040,-
Trojcestný ventil	1 ks	2 050,-
Pojistný ventil	1 ks	390,-
Nemrznoucí směs		1 850,-
C _u - trubky		3 600,-
Celkem bez DPH		119 175,-
Celkem s 20 % DPH		143 010,-

Tabulka TUV 10.1

Tabulka investičních nákladů TUV s přitápěním

Název	Mn.	Cena
Solární kolektory	3 ks	43 200,-
Sada upevňovací a propojovací	3 ks	4 180,-
Solární zásobník Q7-800-ZDV	1 ks	53 445,-
Čerpadlo Wilo ST 25/6	3 ks	10 746,-
Elektronická regulace	2 ks	7 900,-
Expanzní nádoba	2 ks	1 998,-
Odvzdušňovací ventil	1 ks	490,-
Teplotní čidlo	5 ks	750,-
Zpětná klapa	1 ks	550,-
Kulový kohout	7 ks	1 820,-
Pojistný ventil	1 ks	390,-
Trojcestný ventil	2 ks	4 100,-
Nemrznoucí směs		3 700,-
C _u - trubky		5 100,-
Kotel na plyn		20 000,-
Celkem bez DPH		158 369,-
Celkem s 20 % DPH		190 043,-

Tabulka TUV s přitápěním 10.2

Roční finanční úspora TUV

$$RU_{TUV} = \frac{Q_{ViTUV_rok} \cdot s_p}{\eta_{Ts}}$$
$$RU_{TUV} = \frac{5\,035,27 \cdot 1,18}{0,85} \quad (10.1)$$
$$RU_{TUV} = \underline{\underline{6\,990,14 \text{ Kč / rok}}}$$

kde: RU_{TUV} - roční finanční úspora TUV [Kč/rok]
 s_p - sazba plynu [Kč/kWh]
 η_{Ts} - účinnost topného systému [1]

Prostá doba návratnosti TUV

$$\tau_{pTUV} = \frac{IN_{TUV}}{RU_{TUV}}$$
$$\tau_{pTUV} = \frac{143\,010}{6\,990,14} \quad (10.2)$$
$$\tau_{pTUV} = \underline{\underline{20,5 \text{ let}}}$$

kde: IN_{TUV} - investiční náklady TUV [Kč]
 τ_{pTUV} - prostá doba návratnosti TUV [let]

Roční finanční úspora TUV s přitápěním

$$RU_{TUV+V_{yt}} = \frac{Q_{ViCel_rok} \cdot s_p}{\eta_{Ts}}$$
$$RU_{TUV+V_{yt}} = \frac{5\,311,86 \cdot 1,18}{0,85} \quad (10.3)$$
$$RU_{TUV+V_{yt}} = \underline{\underline{7\,374,11 \text{ Kč / rok}}}$$

kde: $RU_{TUV+V_{yt}}$ - roční finanční úspora TUV s přitápěním [Kč/rok]

Prostá doba návratnosti TUV s přitápěním

$$\tau_{pTUV+V_{yt}} = \frac{IN_{TUV+V_{yt}}}{RU_{TUV+V_{yt}}}$$
$$\tau_{pTUV+V_{yt}} = \frac{190\,043}{7\,374,11} \quad (10.4)$$
$$\tau_{pTUV+V_{yt}} = \underline{\underline{25,5 \text{ let}}}$$

kde: $IN_{TUV+V_{yt}}$ - investiční náklady TUV s přitápěním [Kč]
 $\tau_{p\ TUV+V_{yt}}$ - prostá doba návratnosti TUV s přitápěním [let]

Výpočet prosté návratnosti investic jak pro TUV tak pro TUV s přitápěním je pouze orientační představa o ekonomické efektivnosti. Zvolila bych variantu TUV, protože prostá doba návratnosti je o 5 let kratší a náklady jsou o cca 30 % menší než u varianty s přitápěním, přičemž při této druhé variantě bychom využili pouze o cca 5 % více energie z kolektorů.

11 Environmentální zhodnocení

Environmentální hodnocení slouží ke stanovení množství emisí jednotlivých znečišťujících látek. V rodinném domě je kotel na plyn a instalací solárních kolektorů by se měly omezit emisní limity. Ke stanovení množství emisí se používají emisní faktory. Tyto hodnoty jsem získala z literatury [2] pro spalovací kotel s účinností topného systému 85 % (hlavně účinnost samotného kotle). V tabulce 11. 1 jsou uvedeny výsledné hodnoty před a po instalaci solárních kolektorů. Z tabulky 11.1 je jasné vidět rozdíl mezi vzniklými emisemi před a po instalaci solárních kolektorů. Emisní zatížení se sníží o cca 75 % z původních 100 % (při provozování kotle na plyn).

Zemní plyn	Emisní faktor	Emise před instalací kol. na TUV	Emise po instalaci kol. na TUV	Úspora emisí pro potřebu TUV
Emise	[g/kWh]	[g/rok]	[g/rok]	[g/rok]
CO ₂	219	1 726 503,25	429 180,74	1 297 322,51
NO _x	0,18	1 419,04	352,75	1 066,29
SO ₂	0,007	55,19	13,72	41,47
TZL	0,004	31,53	7,84	23,70
CO	0,16	1 261,37	313,56	947,82
Uhlovodíky	0,04	315,34	78,39	236,95

Tabulka 11.1

Emise před instalací kolektorů

$$E_{pr} = \frac{Q_{sTV_rok}}{\eta_{Ts}} \cdot \text{emisní faktor } CO_2$$

$$E_{pr} = \frac{6\,701,04}{0,85} \cdot 219 \quad (11.1)$$

$$E_{pr} = \underline{\underline{1\,726\,503,25 \text{ g / rok}}}$$

kde: E_{pr} - emise před instalací kolektorů [g/rok]

Q_{sTV_rok} - roční spotřeba tepla pro ohřev TUV [kWh/rok]

Emise po instalaci kolektorů

$$E_{po} = \frac{Q_{sTV_rok} - Q_{ViTUV_rok}}{\eta_{Ts}} \cdot \text{emisní faktor } CO_2$$

$$E_{po} = \frac{6\,701,04 - 5\,035,27}{0,85} \cdot 219 \quad (11.2)$$

$$E_{po} = \underline{\underline{429\,180,74 \text{ g / rok}}}$$

kde: E_{po} - emise po instalaci kolektorů [g/rok]

12 Závěr

V diplomové práci jsem se snažila o návrh plochého solárního kolektoru. Aktivní plocha kolektoru je $3,3 \text{ m}^2$ s 23 trubkami, kterými protéká teplotonosná kapalina. Tento navrhovaný kolektor jsem použila při návrhu systému pro přípravu TUV a přípravu TUV s přitápěním. Danou solární soustavu tvoří 3 solární kolektory. Tři solární kolektory jsou schopné pokrýt přípravu TUV v měsících od dubna do září a přípravu TUV s přitápěním od května do září. Nevyužité teplo není v diplomové práci řešeno, mohlo by se však použít k ohřevu vody v bazénu.

Celkové náklady pro přípravu TUV činí 143 010 Kč, při roční úspoře energie to znamená, že doba návratnosti je 20,5 let. Celkové náklady pro přípravu TUV s přitápěním jsou 190 043 Kč, doba návratnosti by byla 25,5 let. Jako vhodnější variantu jsem zvolila systém pro přípravu TUV, kde by byla doba návratnosti kratší o 5 let. Pro tuto variantu jsem udělala environmentální zhodnocení, kde úspora emisí po instalaci solárních kolektorů je cca 75 %.

Seznam použité literatury

- [1] Cihelka J: Solární tepelná technika. Praha: T. Malina, 1994, 208 s,
ISBN 80-900759-5-9
- [2] Heinz Ladener, Frank Späte: Solární zařízení. Grada Publishing a.s, 2003, 268 s,
ISBN 80-247-0362-9
- [3] Kaminský J., Vrtek M: Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998,
102 s, ISBN 80-7078-445-8
- [4] Humm O: Nízkoenergetické domy. Praha: Grada, 1999, 353 s,
ISBN 80-7169-657-9
- [5] Smolík J: Technika prostředí. Praha: SNTL.ALFA, 1985
- [6] Turner W. C: Energy Management Handbook, 3. vydání, Lilburn: The Fairmont Press,
Inc., 1997, 40 s, ISBN 0-13-728098-X
- [7] Moran M. J., Shapiro H. N: Fundamental of Engineering Thermodynamics, 2. vydání,
New York: John Wiley&Sons, Inc., 1992, ISBN 0471076813
- [8] Obnovitelné zdroje energie, FCC PUBLIC s. r. o., Praha 8
- [9] Norma ČSN 06 0210: 1994: Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápěním
- [10] Návodů do cvičení z termomechaniky: Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D., 2001
- [11] Klimatologické údaje: STÚ-E, a.s. 2006, 277 s
- [12] Příručka Solární systémy Quantum, a.s., Vyškov, 2008, 56 s
- [13] Matuška T: Solární kolektory, Ústav techniky prostředí, Fakulta strojní, ČVUT Praha
- [14] <http://www.e-c.cz/index.php?page=tmosty>
- [15] <http://kolektory.blog.cz/0802/jak-pracuje-solarni-system>
- [16] www.tzb-info.cz
- [17] www.solarpower.cz
- [18] www.regulus.cz
- [19] www.sunlife.cz/index.html
- [20] www.solarhit.cz
- [21] <http://www.propuls.cz/solarni-systemy-ohrev-tuv-pritapeni.html>

Seznam příloh

- Příloha 1: Návrh kolektoru (EES)
- Příloha 2: Solární zásobník
- Příloha 3: Půdorys prvního podlaží
- Příloha 4: Půdorys druhého podlaží
- Příloha 5: Řez domu
- Příloha 6: Pohled domu

Seznam výkresů

- SN2ESZ02-1 Solární kolektor
- SN2ESZ02-2 Schéma
- SN2ESZ02-3 Dispozice